BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Fischer, Ernst Gottfried,

Lehrbuch der mechanischen Naturlehre

Bd.: 2

Berlin [u.a.] 1826
BHS II H 51-2
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10707522-5

Bayerische Berg-, Hütten- und Salzwerke
Aktiengesellschaft
Bibliothek:
Gru
E Nr. 51

45 II H 51-2

Lehrbuch

der

mechanischen Naturlehre

von

Ernst Gottfried Fischer,

ordentlichem Mitglied der Königl. Akademie der Wissenschaften, und andrer gelehrten Gesellschaften; außerordentlichem Professor an der Königl. Universität in Berlin; ordentlichem Professor an dem Gymnasium zum grauen Kloster ꝛc.; Ritter des rothen Adler-Ordens dritter Klasse.

BIBLIOTHEK
DER K.B.GENERAL-
BERGW:U.SALINEN-
ADMINISTR.

Zweiter Theil,

welcher die Lehre von der Elektricität, von der magnetischen Kraft und vom Lichte enthält.

Dritte sehr vermehrte und verbesserte Auflage.

Mit Kupfern.

Berlin und Leipzig, in G. C. Nauck's Buchhandlung.

1826.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Gedruckt in G. C. Nauck's Buchdruckerei zu Berlin.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Vorwort.

Seit Vollendung des Druckes vom ersten Theil dieses Lehrbuches, ist in den Poggendorfischen Annalen die Beschreibung von ein Paar sehr nützlichen Geräthschaften erschienen, welche hier wenigstens noch eine kurze Erwähnung verdienen.

Im Jahrgang 1825, St. 9. S. 69 — 88, und St. 12. S. 335 — 344 findet sich ein Aufsatz: Über die Verdunstungskälte, und ihre Anwendung auf Hygrometrie, von E. F. August, Prof. in Berlin. Der Verfasser beschreibt darin eine sehr wohl ausgedachte Geräthschaft, welcher er den Namen Psychrometer giebt. Sie besteht aus der Verbindung zweier Thermometer, wo die Kugel des einen immer feucht, die des andern trocken erhalten wird. Aus dem Unterschied des Standes beider Thermometer läßt sich der Zustand des der Luft beigemischten Wasserdunstes leicht und genau, und selbst sichrer als vermittelst des Daniell'schen Hygrometers, ableiten. Die Theorie der Geräthschaft ist in dem Aufsatze sehr gründlich und scharfsinnig entwickelt.

Im 3ten Stück desselben Jahrganges S. 329 — 340 findet sich ein Aufsatz desselben Verfassers:

Beschreibung eines neu erfundenen Differential-Barometers, (so genannt, weil es den Druck der Luft durch den Unterschied der Expansivkraft bestimmt, welcher entsteht, wenn dieselbe bis auf einen gewissen Theil ihres Volnmens, z. B. bis auf $\frac{1}{5}$ des Raumes comprimirt wird). Es ist eigentlich ein Reise-Barometer, indem es kaum den vierten Theil von der Höhe eines gemeinen Barometers hat, und in seinem gnnzen Bau so eingerichtet ist, daß es leichter und sicherer, als irgend ein anderes bekanntes Reise-Barometer, gegen Beschädigungen verwahret werden kann. Die Barometerhöhe, wird, wie an einem gewöhnlichen Barometer unmittelbar von einer verjüngten Scale abgelesen, nicht berechnet, und man erhält sie, bei Anwendung der nöthigen Sorgfalt, mit der Genauigkeit von 0,1 einer Pariser Linie, welches für die Höhenmessungen, die sich auf Reisen machen lassen, hinreichend ist.

Beide Geräthschaften verfertigt in vorzüglicher Güte, Hr. Joh. Georg Greiner jun. in Berlin; ein Künstler der eben so sehr wegen seiner ausnehmenden Geschicklichkeit und Genauigkeit in Verfertigung aller Arten von meteorologischen Instrumenten, als wegen der Billigkeit seiner Preise empfohlen zu werden verdient.

Berlin im Mai 1826.

E. G. Fischer.

Sechster Abschnitt.

Von der Elektricität.

Sechsunddreißigstes Capitel.

Von der Elektrisir-Maschine und den allgemeinen Eigenschaften der Elektricität.

§. 1. Daß der Bernstein (welchen die Griechen ἤλεκτρον, die Lateiner Succinum nannten), wenn er gerieben wird, kleine Körper anziehe, war schon den Alten bekannt; aber man ahnete nicht, daß diese Erscheinung die Wirkung einer sehr merkwürdigen und weit verbreiteten Naturkraft sei. Erst im 17ten Jahrhundert entdeckte man, daß auch Schwefel, alle Harze, Glas und viele andere Körper eben diese Eigenschaft besitzen. Aber der Erfinder der Luftpumpe, Otto von Guericke, war es, der den physikalischen Apparat noch mit einer zweiten höhst wichtigen Maschine, mit der Elektrisir-Maschine bereicherte. Die Gränzen eines Grundrisses erlauben weder die ursprüngliche Einrichtung dieser Maschine, noch die mannichfaltigen Abänderungen, wodurch man sie nach und nach verbessert hat, zu beschreiben. Wer hierüber Belehrung wünscht, kann sie in den phys. Wörterbüchern, unter dem Artikel Elektrisir-Ma-

schine finden. Wir müssen uns begnügen, das Wesentlichste von derjenigen Einrichtung anzugeben, welche man jetzt für die beste hält.

§. 2. Die beiden wesentlichsten Theile sind, der geriebene Körper, und der reibende, oder das Reibezeug.

Der geriebene Körper ist jetzt gewöhnlich eine runde Scheibe von geschliffenem Spiegelglas; je größer, desto stärker ist die Wirkung. Die gewöhnlichste Größe des Durchmessers ist zwei Fuß. Doch bedient man sich statt derselben häufig auch einer Kugel, oder eines Cylinders von Glas. Durch die Mitte der Scheibe geht eine metallene oder gläserne Achse, die in einem hölzernen Gestell so befestigt ist, daß sie nebst der Scheibe vermittelst einer Kurbel umgedreht werden kann.

Das Reibezeug besteht jetzt gewöhnlich aus zwei oder vier flachen und länglichen Kissen, welche durch Federn nahe beim Umfang der Scheibe an beiden Seiten des Glases paarweise angedrückt werden. Die Grundfläche der Kissen ist eine Metallplatte; sie sind mit Haaren ausgestopft, und mit Leder überzogen. Die Fläche des Leders wird mit etwas Fett eingerieben; dann streut man ein trocknes gepulvertes Amalgam von Queckſilber und Zink darauf, und reibt es möglichst gleichförmig in das Leder ein. Auf der Seite, wohin sich die Scheibe dreht, wird ein Stück Wachstaffent an die Kissen angenäht, das sich beim Umdrehen an die Scheibe anlegt. Die Träger der Kissen müssen Glassäulen sein, die mit einem guten Firniß (von Schell-Lack, oder Siegel-Lack) überzogen sind. Dabei muß die Einrichtung getroffen sein, daß man die Kissen, durch Drähte oder Ketten in eine metallische Verbindung mit

dem hölzernen Hauptgestell, der Maschine, oder mit dem Erdboden setzen kann. Bei den folgenden Versuchen in diesem ganzen Capitel wird vorausgesetzt, daß das Reibezeug mit dem Gestell in metallischer Verbindung stehe. Ist dieses nicht der Fall, so erfolgen zwar auch alle Erscheinungen, nur merklich schwächer.

Endlich bemerke man noch ausdrücklich, daß wegen des Amalgama, womit die Kissen überzogen sind, die Reibung beim Umdrehn der Scheibe eigentlich zwischen Glas und Metall geschehe.

§. 3. Schon mit den beschriebenen Theilen der Maschine, lassen sich die vornehmsten Erscheinungen bemerklich machen, deren Inbegriff man Elektricität zu nennen pflegt. Wird die Glasscheibe bei trockner warmer Luft umgedreht, so zeigen sich folgende Erscheinungen:

1. man empfindet einen phosphorähnlichen Geruch,

2. Nähert man die Hand, oder die Stirn allmählig der Scheibe, so zeigt sich in einer gewissen Entfernung ein Gefühl, als ob Spinnweben den Körper berührten.

3. Nähert man den Knöchel eines Fingers, oder eine Metallkugel der Scheibe, so sprüht ein kleiner knisternder Funke heraus, der ein schwaches Stechen erregt.

4. Im Dunkeln ist diese Lichterscheinung viel auffallender, und es strömen, während des Umdrehens Feuerstrahlen unter dem Wachstaffent des Reibezeugs hervor in die Luft.

5. Hält man mit Umdrehen inne, so dauern alle diese Erscheinungen, doch mit sichtbar abnehmender Stärke, eine Zeitlang fort. Es läßt sich aber jetzt die in vieler Rücksicht merkwürdigste elektrische Erscheinung,

das elektrische Anziehen und Abstoßen, bemerklich machen. Die Scheibe zieht jetzt alle Arten kleiner und leichter Körperchen an, hält sie eine Zeitlang fest, und stößt sie dann wieder ab. Am lehrreichsten wird diese Erscheinung, wenn man Kügelchen von Kork oder Holundermark an Fäden hängend der Scheibe nähert. Ist der Faden von reiner trockner Seide, so wird das Kügelchen angezogen, hängt eine kurze Zeit an der Scheibe, und wird dann abgestoßen. Dies Abstoßen ist fortdauernd; berührt man aber das Kügelchen, so wird es von neuem angezogen und abstoßen. Ist hingegen der Faden leinen, besonders feucht, so wird zwar das Kügelchen angezogen, aber nicht abgestoßen.

§. 4. Wenn ein Körper diese Erscheinungen, oder auch nur die letzte zeigt, so sagt man, er sei elektrisch, oder elektrisirt; und den unbekannten Stoff, der diese Erscheinung hervorbringt, nennt man die elektrische Materie.

§. 5. Es ist noch ein Haupttheil der Elektrisir-Maschine zu erwähnen, der Conductor, oder erste Leiter. Es ist ein Körper, der entweder ganz von Metall ist, oder wenigstens einen metallnen Überzug hat, wäre er auch nur von Gold- oder Silberpapier. In der Größe und Gestalt ist viel willkührliches. Man giebt ihm gewöhnlich die Gestalt eines an beiden Enden abgerundeten Cylinders, oder auch einer Kugel. Für eine zweifüßige Scheibe macht man ihn etwa 3 Fuß lang, und giebt ihm einen Durchmesser von 5 bis 6 Zoll. Mit der Scheibe steht er durch ein Paar runde metallne Arme in Verbindung, die der Scheibe an den Stellen, wo die erregte Elektricität unter dem Wachstaffent hervorströmt, einige Spitzen ungefähr in der Entfernung

von einem halben Zoll zukehren. Sonst müssen alle Spitzen und vorspringende Ecken an ihm sorgfältig vermieden werden. An neuern Maschinen läßt man auch die gedachten Spitzen weg. Die Arme müssen so eingerichtet sein, daß man sie abnehmen, und zu einem in der Folge zu bestimmenden Gebrauch mit andern vertauschen kann, welche den Conductor, statt der Scheibe, mit dem Reibezeug in Verbindung setzen. Ein Hauptumstand ist, daß er auf gläsernen Füßen stehen, und mit dem übrigen Gestell der Maschine weiter gar keine Verbindung haben muß.

Der §. 2 und 5. beschriebenen Einrichtung einer Scheiben-Maschine zieht man jetzt ziemlich allgemein die Van Marumsche vor, welche allerdings manche eigenthümliche Bequemlichkeiten hat, obgleich der Conductor, dem man Kugelgestalt giebt, schwerlich das rechte Verhältniß gegen die Größe der Scheibe haben möchte. Eine Beschreibung dieser Einrichtung findet man in Gren's Journal der Physik B. 4. St. 1. Auch vergleiche man Gilberts Annalen der Physik v. J. 1806. St. 7. S. 302. ff.

§. 6. Sobald die Scheibe gedreht wird, zeigt sich der Conductor in seinem ganzen Umfange in gleichem Grade elektrisch, mit allen §. 3. erwähnten Erscheinungen. Nur bei dem Funkenziehen zeigt sich der Unterschied, daß der Funke größer, mehr knisternd und stechender ist; auch zeigt er sich schon in der Entfernung von mehreren Zollen, besonders wenn die Luft recht trocken ist. Der merkwürdigste Unterschied ist, daß durch einen einzigen solchen Funken der ganze Conductor auf einmal aller seiner Elektricität beraubt wird; da hingegen die Scheibe ihre Elektricität immer nur auf der Stelle verliert, wo ein Funke gezogen wird. Verbindet man den Conductor durch eine Drahtkette mit dem Hauptgestell der Maschine,

oder dem Erdboden, so zeigt er beim Umdrehen der Scheibe nicht die geringste Elektricität.

§. 7. Diese Versuche zeigen sehr deutlich das verschiedene Verhalten des Glases und des Metalls gegen die Elektricität. Das Glas wird durch das Reiben elektrisch, hält aber die auf seiner Oberfläche gehäufte Elektricität fest, und läßt sie nur an der Stelle fahren, wo man sie berührt. Das Metall hingegen wird durch Reiben nicht elektrisch, nimmt aber von dem elektrisirten Glas die Elektricität augenblicklich in seinem ganzen Umfange an, läßt sie jedoch auch augenblicklich wieder fahren, wenn ihm der Finger, oder ein anderer, besonders metallischer Körper dargeboten wird.

Man sieht hieraus, warùm der Conductor auf Glas ruhen muß, und warum er nicht elektrisch wird, wenn er in einer metallischen Verbindung mit der Erde steht. Metall leitet die elektrische Materie, Glas nicht.

Wenn in dem §. gesagt wird, daß Metall durch Reiben nicht elektrisch werde, so ist dieses nur von den gewöhnlichen Verhältnissen unter denen man Metall reibt zu verstehen. Denn im folgenden Capitel werden wir sehen, daß allerdings auch Metall, unter gewissen Umständen durch Reiben elektrisch werde.

§. 8. Glas und Metall sind nicht die einzigen Körper, die dieses Verhalten in Ansehung der Elektricität zeigen; sie sind nur die besten in ihrer Art. Man theilt daher die Körper in Nichtleiter und Leiter der Elektricität.

Zu der ersten Klasse gehören: — a) aus dem anorganischen Naturreich, das gemeine Glas, und alle Verglasungen, nebst ihren wesentlichen chemischen Bestandtheilen, Erden und Metalloxyden; ferner die natürlichen Krystallisationen der zuletzt genannten Stoffe, also

besonders alle Edelsteine, und fast alle harte Steinarten, die wahrscheinlich nur Conglomerate kleiner Krystalle sind. Ferner gehören hieher der Schwefel und die atmosphärische Luft. Doch zeigt die letzte immer einige bald schwächere, bald stärkere leitende Kraft, die von ihrer veränderlichen chemischen Mischung, besonders von ihrem Wassergehalt herrührt. — b) Die meisten trocknen Stoffe aus dem Thierreich, besonders Seide, Wolle, Haare, Federn. — c) Sehr viele trockne Stoffe aus dem Pflanzenreich; ganz besonders alle Harze und harzige Mischungen (als Siegellack), auch Bernstein; ferner Baumwolle, Papier, Zucker, getrocknetes Holz, besonders wenn es am Feuer gedörrt ist; auch das fette Öl gehört hierher. — Es ist indessen unter allen diesen Körpern keiner, der nicht in einem gewissen Grade die Elektrität leitete. Die besten Nichtleiter sind: Glas, Schwefel, Harz, Siegellack, Seide; die übrigen nennt man nicht unschicklich Halbleiter.

Die besten Leiter sind aus der anorganischen Natur, die Metalle, das Wasser und die Kohle. Aus der organischen Natur, der lebende thierische und Pflanzenkörper; alle Gummata, auch die von allen harzigen und öligen Theilen befreite Pflanzenfaser scheint ein ziemlich guter Leiter zu sein, wenigstens ist es das Leinenzeug. Holz, Baumwolle, Papier ꝛc. nähern sich vielleicht bloß durch ihren Harz- und Ölgehalt den nichtleitenden.

Man nannte vormals die Nichtleiter auch schlechthin elektrische oder ursprünglich elektrische oder idioelektrische Körper; und die Leiter unelektrische Körper; Benennungen, die auf mangelhaften Kentnissen der Elektricität beruhten.

Anm. Es ist aus vielen Ursachen zu wünschen, daß gründliche Chemiker anfangen mögen, sich mit der Elektricität zu beschäftigen. Die obige Zusammenstellung der leitenden und nicht leitenden Körper läßt vermuthen, daß zwischen den elektrischen Eigenschaften und der chemischen Mischung der Körper ein gewisser Zusammenhang sei, den der bloß mechanische Physiker nicht auffinden wird.

Diese Hoffnung ist, seit der Erscheinung der ersten Ausgabe, schon sehr in Erfüllung gegangen, indem Davy vermittelst der Volta'schen Säule, von welcher im letzten Capitel dieses Abschnitts die Rede ist, die feuerbeständigen Alkalien und Erden zersetzt, und uns in ihren metallähnlichen Grundlagen eine ganz neue, sehr merkwürdige Art von Stoffen kennen gelehrt hat. Auch andere Naturforscher haben die Wissenschaft von dieser Seite mit sehr merkwürdigen Entdeckungen bereichert.

§. 9. Einen Körper isoliren, heißt ihn mit der übrigen sichtbaren Körperwelt, bloß durch Nichtleiter in Verbindung setzen. Man hat allerlei isolirende Gestelle, an welche man Körper hängen, legen, stellen, befestigen kann. Ein solches Gestell nennt man ohne alle Rücksicht auf seine Gestalt, ein Isolatorium. Die besten Materialien zum Isoliren, sind: Glas, Siegellack, Seide, Holz, welches an Feuer gedörrt ist, und gute Firnisse von Bernstein, Schell-Lack ꝛc.

§. 10. Vergleicht man die Erscheinungen des Anziehens und Abstoßens (§. 3. u. 5.) mit dem, was über das Leitungsvermögen der Körper gesagt worden, so ergiebt sich daraus ein wichtiges Grundgesetz der elektrischen Erscheinungen:

daß elektrische und unelektrische, oder vielmehr ungleich elektrische Körper einander anziehen, gleich stark elektrische hingegen einander abstoßen.

Die Korkkugel an dem nichtleitenden seidenen Faden wird angezogen, wenn sie nicht elekrisch ist; sie wird abgestoßen, sobald sie sich mit Elektricität gesättigt hat; und dies Abstoßen dauert fort, bis sie durch die Berührung mit einem Leiter ihre Elektricität wieder verlohren hat. Hängt sie hingegen an einem leinenen, also leitenden Faden, so kann sie sich nicht mit Elektricität sättigen, und wird daher fortdauernd angezogen.

§. 11. Das Abstoßen gleichelektrischer Körper beweiset nicht nur daß in der Elektricität selbst ein beständiges Bestreben liege, sich auszubreiten, sondern daß sie eben das Bestreben auch der wahrnehmbaren Materie mittheile, zwischen deren Theilen sie in Thätigkeit gesetzt ist. Hieraus folgt, daß durch dieselbe die Cohäsion sowohl fester als flüssiger Theile vermindert werde. Auch werden wir in der Folge sehen, daß durch sehr verstärkte Elektricität, Glas und andere feste Körper zersprengt, oder durchlöchert werden können.

Ein artiger Versuch, der dieses anschaulich macht, läßt sich bequem mit der Elektricität des Conductors anstellen. Einem beliebigen trichterförmigen Gefäß gebe man unten eine so kleine Öffnung, daß hineingegossenes Wasser nur in einzelnen großen Tropfen herausfließt. Ein solches Gefäß hänge man am Conductor so auf, daß das Wasser in leitender Verbindung mit dem Conductor steht. Sobald die Scheibe gedreht wird, zertheilt sich das Wasser in viele kleine Tröpfchen, und fließt mit vermehrter Geschwindigkeit heraus.

§. 12. Auf dem elektrischen Anziehen und Abstoßen, beruhen fast alle Arten von Elektroskopen und Elektrometern. Instrumente, welche den Zweck haben, die Stärke der Elektricität zu schätzen, oder zu messen, aber größtentheils diesen Zweck nur unvollständig er-

füllen. Sie sind indessen bei den meisten Versuchen unentbehrlich, und wir müssen daher gleich anfänglich einige Nachricht von ihnen geben.

Das einfachste Instrument dieser Art ist eine einzige kleine Kugel von Kork, oder Holundermark, die an einem etwas langen und recht trockenen seidenen Faden hängt, wodurch man, auf die schon beschriebene Art, prüfen kann, ob ein Körper elektrisch ist, oder nicht.

Nicht weniger einfach ist das Faden-Elektroskop. Zwei kleine Kugeln von Kork oder Holundermark werden an beiden Enden eines leinenen Fadens befestigt. Man hängt sie an dem Conductor, oder an einem andern elektrisirten Körper so auf, daß sie neben einander hängen. Sie stoßen einander ab, sobald sie elektrisch werden, und gehen desto stärker auseinander, je stärker die Elektricität ist. Man macht dieses Elektroskop von sehr verschiedener Größe; für schwache Grade der Elektricität sehr klein. Die meisten Arten von Elektroskopen sind nur verbesserte Einrichtungen von diesem. Die Gränzen eines Grundrisses verstatten aber nicht, alle diese Abänderungen einzeln zu beschreiben, auch würde sich der Grund mancher Einrichtungen hier noch nicht, deutlich machen lassen. Als vorzüglich brauchbar nennen wir bloß: Cavallo's Flaschenelektroskop, de Saussure's Luftelektrometer, Bennet's Goldblättchen-Elektrometer, und Volta's Strohhalm-Elektrometer. M. vergl. Gehler und Fischer in den Artikeln Elektrometer und Luftelektrometer.

Nur Henly's Quadrant-Elektrometer dürfen wir nicht übergehn, indem man es als einen wesentlichen Zubehör einer Elektrisir-Maschine ansehen muß.

Ein halber oder Viertel-Kreis von beliebiger Materie (am besten Glas) ist in Grade eingetheilt, und mit seinem Durchmesser an einer lothrechten runden Säule von (nicht gedörrtem) Holz, oder Metall befestigt, doch so, daß sein Mittelpunkt ein wenig von der Säule absteht, und der Durchmesser ihr parallel bleibt. Im Centrum ist ein kleines, sehr bewegliches Pendel befestigt, das etwa aus einem Faden von Fischbein bestehen kann, und unten eine kleine Korkkugel trägt. Die Säule, welche unterwärts beträchtlich länger als das Pendel ist, kann auf den Conductor lothrecht aufgeschraubt, oder auch vermittelst eines besondern metallnen Fußes, der sich abnehmen läßt, auf andere Flächen lothrecht aufgestellt werden. Steht dieses Elektrometer auf dem Conductor, so nimmt es die Elektricität desselben an, und da das Pendel und die Säule gleich stark elektrisch werden, so wird das Pendel von der Säule abgestoßen, und steigt an dem getheilten Kreise desto höher, je stärker die Elektricität ist. Gehler I. 808. Fischer II. 79.

Von dem Bohnenbergerschen Elektrometer, welches eins der vorzüglichsten ist, kann erst im 40sten Capitel (§. 10.) die Rede sein.

Zu den bloß belustigenden Versuchen, die auf dem elektrischen Anziehen und Abstoßen beruhen, gehört der elektrische Tanz und das elektrische Glockenspiel. Gehler II. 509.

§. 13. Es hängt aber das Leitungsvermögen der Körper nicht bloß von ihrer materiellen Beschaffenheit, sondern auch von ihrer Gestalt ab. Man nähere einen zugespitzten Körper von Metall dem Conductor, während die Scheibe gedreht wird, so wird man schon in einer beträchtlichen Entfernung die ableitende Kraft desselben wahrnehmen, wenn sich das Quadrant-Elektro-

meter auf dem Conductor befindet. Auch zeigt sich die ableitende Kraft, wenn man eine Spitze so an dem Conductor befestigt, daß sie abwärts gegen die Luft gekehrt ist; man wird alsdann nicht im Stande sein, den Conductor in einem beträchtlichen Grade zu elektrisiren.

Je abgerundeter und breiter dagegen die Körper sind, desto mehr wird der Übergang der elektrischen Materie erschwert. Die Körper müssen einander viel näher gebracht werden, und der Übergang geschieht vermittelst eines schlagenden Funkens.

§. 14. Mit dem Ausströmen der Elektricität aus Spitzen ist allezeit eine Bewegung der Luft verbunden die man fühlen, oder auch dem Auge durch eine Lichtflamme, oder durch Rauch bemerklich machen kann. Auf dieser Bewegung der Luft beruht das sogenannte elektrische Rad. Es besteht in einem nach der Gestalt eines großen lateinischen S oder Z gebogenen und an beiden Enden scharf zugespitzten Streifen Messings, der in der Mitte nach Art einer Magnetnadel auf einer einzigen Spitze umläuft. Wird diese Spitze auf den Conductor geschraubt, und das Rad aufgesetzt, so läuft es sehr schnell rückwärts um, wenn der Conductor elektrisirt wird.

Ein bemerkenswerther Umstand hiebei ist es, daß die Bewegung der Luft in jedem Falle von der Spitze abwärts geht, welches ohne Zweifel daher rührt, daß die Lufttheilchen, welche mit dem zugespitzten Körper in Berührung sind, abgestoßen werden, sobald sie gleiche Elektricität mit dem Conductor angenommen haben.

§. 15. So wie man die Elektricität der Scheibe dem ersten Conductor mittheilen kann, so kann man sie von diesem wieder jedem andern Leiter mittheilen, wenn

er isolirt ist. So kann z. B. ein Mensch elektrisirt werden, wenn er auf einem Isolatorium (zu diesem Zweck einem Brett mit gläsernen Füßen) steht. Sein Körper zeigt dann alle elektrischen Erscheinungen, ohne daß eine besondere Wirkung auf den Körper, oder auch nur ein besonderes Gefühl (außer einem Stechen, wenn man Funken aus ihm zieht) bemerklich würde.

Auf dieser Mittheilung der Elektricität beruht eine kleine elektrische Geräthschaft, welche bei vielen Versuchen, besonders bei dem Gebrauch empfindlicher Elektrometer, denen man nur sehr geringe Grade von Elektricität mittheilen darf, unentbehrlich ist. An eine dünne 5 bis 6 Zoll lange Glasröhre, die mit Siegellack, oder Firniß überzogen, und deren unteres Ende zugeschmolzen ist, wird oben eine lange Stecknadel, oder auch ein kurzes Stück Draht queer herüber befestigt, so daß es gegen die Glasröhre die Gestalt eines T hat. Hält man das spitze Ende dieses Drahtes an einen Conductor, oder andern elektrisirten Körper, so nimmt er nach Verhältniß seiner Größe, eine geringere oder größere Menge von Elektricität an, die aber, weil sie isolirt ist, nur sehr langsam abströmen kann. Bringt man aber diesen Draht an einen leitenden Körper, z. B. an den Knopf eines Elektrometers, so geht die Elektricität größtentheils in diesen über, und bringt die Fäden oder Strohhalme zum Auseinandergehn. Ich nenne dieses kleine Instrument einen elektrischen Überträger. Man thut wohl sich mit mehreren zu versehen, indem man dem Draht verschiedene Längen, etwa von $\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll giebt.

§. 16. Alle in diesem Capitel erörterten, und die meisten in der Folge noch zu erklärenden Wirkungen der Elektricität, kann man mechanische nennen: denn sie

betrafen sämmtlich Bewegungen der Elektricität selbst (nämlich Übergang aus einem Körper in den andern), oder Bewegung wahrnehmbarer Körper, die durch Elektricität hervorgebracht war. Aber es liegen in der Elektricität auch äußerst merkwürdige chemische Kräfte, wodurch die chemische Naturlehre seit wenigen Jahren mit einer Menge der merkwürdigsten Entdeckungen bereichert worden ist. (Vergl. Anm. zu §. 8.) Obgleich eine vollständige Ausführung der Elektricitätslehre von dieser Seite eigentlich in die Chemie gehört, so werden wir doch nicht umhin können, einiges dahin gehörige in der Folge zu berühren. Hier aber mag es genügen, wenigstens eine der einfachsten chemischen Wirkungen zu berühren; nämlich die Entzündungskraft des elektrischen Funkens. Am leichtesten entzündet er Knall-Luft, und nächstdem Weingeist. Diese Entzündungskraft ist um so merkwürdiger, da der elektrische Funke selbst gar keine Wärme zu haben scheint.

Der menschliche Körper empfindet durchaus keine Wärme, die Elektricität mag ihm durch einen Funken mitgetheilt werden, oder nur durch ihn hindurchströmen, er mag dabei isolirt sein, oder nicht. Selbst durch einen Metalldraht kann man unzählige Funken schlagen lassen, ohne eine Spur von erhöhter Temperatur wahrzunehmen. Auch steht die Entzündlichkeit brennbarer Körper unter ganz andern Gesetzen, wenn sie durch Elektricität, als wenn sie durch Hitze entzündet werden. Phosphor entzündet sich unmittelbar sehr schwer, und Schwefel gar nicht durch Elektricität, weil jener als Halbleiter, dieser als Nichtleiter die Elektricität schwer annehmen. Und vielleicht ist Knall-Luft die einzige brennbare Materie, welche unmittelbar durch Elektricität entzündet wird. Selbst der Weingeist muß erst ein wenig erwärmt werden, und man muß die Funken aus dem Conductor nicht auf seine Fläche, sondern auf den Rand, wo er die (metallne) Schale berührt schlagen lassen. Zwar

werden wir in der Folge sehen, daß Stahl, ja alle Metalle unter gewissen Umständen zum Glühen, ja selbst zum Verbrennen gebracht werden können, wobei allerdings eine große Wärme-Erregung statt findet. Nur dürfte diese Wärme-Erregung keine unmittelbare Wirkung der Elektricität sein. Diese scheint vielmehr darin zu bestehen, daß die Elektricität die rasche Oxydation in welcher das Verbrennen besteht (XX. 3.), auch in niedriger Temperatur möglich macht. Der Oxydations-Prozeß dürfte dann die eigentliche unmittelbare Ursache der entstehenden Hitze sein.

Auf der Entzündlichkeit der Knall-Luft und des Weingeistes beruhen allerlei elektrische Spielwerke, unter andern die elektrische Pistole u. d. g. m.

Siebenunddreißigstes Capitel.

Entgegengesetzte Elektricitäten.

§. 1. Schon in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts machte ein französischer Naturforscher, Du Fay, die merkwürdige Entdeckung, daß es zwei Arten von Elektricität gebe, die einzeln betrachtet die größte Ähnlichkeit haben; mit einander verglichen aber dennoch etwas Entgegengesetztes in den Erscheinungen zeigen. Er nannte die eine Glaselektricität, die andere Harzelektricität, weil, bei ungeänderten Reibezeug jene hervorgebracht wird, wenn polirtes Glas, diese, wenn Harz der geriebene Körper ist. Nach Du Fay's Tode schienen die Naturforscher den feinen Unterschied beider Elektricitäten zu übersehen, dessen Wahrnehmung dem Beobachtungsgeist des Entdeckers Ehre macht. Erst in der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts setzte der berühmte Franklin diese Untersuchung fort, und zeigte den Unterschied beider Elektricitäten so vollständig, daß diese Entdeckung seitdem der Schlüssel zur Erklärung

der merkwürdigsten elektrischen Erscheinungen geworden ist. Was Du Fay Glas- und Harz-Elektricität genannt hatte, nennt Franklin positive und negative Elektricität; daher es auch gewöhnlich geworden ist, jene durch das Zeichen +E, diese, durch —E anzudeuten. Da indessen Du Fay's Benennung auf einer Thatsache, Franklin's auf einer bloßen Hypothese beruht, die noch dazu in neuern Zeiten viel von ihrer Wahrscheinlichkeit verloren hat, so wollen wir zwar bei Du Fay's Benennungen bleiben, aber dennoch die Zeichen +E und —E beibehalten, da sie einmal allgemein üblich sind.

Franklin's Zeichen mit Du Fay's Benennungen zu verbinden, kann inconsequent scheinen. Erwägt man aber, daß das Vorzeichen Minus nicht bloß einen Mangel, sondern auch jede Realität anzeigen könne, die mit einer andern Realität in einem Gegensatze steht, vermöge dessen beide verbunden einander aufheben, so ist klar, daß man berechtigt ist, die Zeichen +E und —E beizubehalten, welche Hypothese man auch über die Beschaffenheit beider Elektricitäten erdenken mag.

§. 2. Man weiß jetzt, daß beide Arten von Elektricität auf vielerlei Art erregt werden können, und daß eigentlich immer beide zugleich, die eine in dem geriebenen Körper, die andere in dem reibenden entsteht. Daß in den bisher beschriebenen Versuchen nur die eine sichtbar wurde, kam daher, weil das Reibezeug nicht isolirt war, also die in ihm erregte Elektricität in dem Augenblick des Entstehens abgeleitet wurde. Isolirt man aber das Reibezeug, und verbindet es leitend mit dem Conductor, bringt aber dagegen nun an der Scheibe die nöthigen Ableitungen an, so wird der Conductor durch das Umdrehen der Scheibe eben so elektrisch wie vorher, und zeigt alle im vorigen Capitel beschriebenen Erschei-

nungen, so daß diese Elektricität von der bisher betrachteten gar nicht verschieden zu sein scheint.

§. 3. Daß aber dennoch beide Elektricitäten, wenn man sie zusammenbringt, einander nicht verstärken, sondern aufheben, zeigt sich sehr deutlich, wenn man sowohl die Scheibe als das Reibezeug isolirt, aber beide mit dem Conductor in leitende Verbindung setzt, so daß sie ihm beide ihre Elektricität zuführen. Man erhält unter diesen Umständen nicht die geringste Spur von Elektricität in dem Conductor. Da sich beide Elektricitäten in diesem Versuche vollständig vernichten, so folgt, daß sie im Reibezeug und in der Scheibe, in gleicher Stärke erregt werden.

Es ergiebt sich hieraus das erste Grundgesetz für die Statik und Mechanik der Elektricität:

beide Elektricitäten vernichten sich, wenn sie von gleicher Stärke sind.

Es ist daher nur scheinbar, wenn die Harz-Elektricität der Maschine schwächer als die Glas-Elektricität zu sein scheint, und rührt bloß daher, daß die Elektricität der Scheibe nicht so vollständig abgeleitet werden kann, als die des Reibezeuges. Der Rückstand schwächt die Harz-Elektricität des Conductors.

§. 4. Wenn man einer kleinen Korkkugel an einem seidenen Faden Glas-Elektricität mittheilt, so wird sie von jedem Körper, der dieselbe Elektricität hat, abgestoßen, dagegen von einem Körper der Harz-Elektricität hat angezogen; und umgekehrt.

Hieraus folgt ein zweites Grundgesetz der elektrischen Statik und Mechanik:

gleichartige Elektricitäten stoßen einander ab, ungleichartige ziehen sich an.

Von der Richtigkeit dieses Gesetzes kann man sich durch folgende sehr einfache Versuche überzeugen. Man hänge eine Korkkugel mit einem seidenen Faden an einem Gestelle auf. Dann elektrisire man eine Glasstange und eine Siegellackstange durch Reibung mit Tuch. Berührt man die Kugel mit der einen Stange, so wird sie von dieser abgestoßen, aber nun von der andern angezogen. Hält man beide Stangen zu beiden Seiten der Kugel, so wird sie von einer zur andern hin und her geworfen.

§. 5. Höhst wahrscheinlich werden beide Elektricitäten bei der Reibung jeder zwei ungleichartigen Körper erregt; nur sind sie in den meisten Fällen so schwach, daß sie nur durch die feinsten elektrometrischen Vorrichtungen bemerklich gemacht werden können. Wie dieses mit den anderweitigen Eigenschaften der Körper zusammenhänge, und welche Elektricität irgend ein Körper zeigen werde, wenn er mit einem andern bestimmten Körper gerieben wird, ist dunkel. Man hat gefunden, daß derselbe Körper bald Glas- bald Harz-Elektricität zeigt, je nachdem er mit diesem oder jenem andern Körper gerieben wird.

Biot stellt in seiner Erfahrungs-Naturlehre (übers. von Wolff, Berlin 1819, Th. 1. S. 645.) folgende Reihe von Körpern zusammen: 1) Katzenfell; 2) polirtes Glas; 3) Wollenzeug; 4) Federn; 5) Hölzer; 6) Papier; 7) Seide; 8) Gummilack; 9) mattgeschliffnes Glas. Jeder von diesen Körpern erhält Glas-Elektricität, wenn er mit einem der folgenden, Harz-Elektricität, wenn er mit einem der vorhergehenden gerieben wird. Mehrere Versuche sehe man in Cavallo's Abhandl. von der Elektr. (aus dem Engl. Leipzig 1785. S. 20. f.).

Man hat bis jetzt dergleichen Untersuchungen hauptsächlich nur mit nichtleitenden oder schlechtleitenden Körpern angestellt; aber es ist sehr wahrscheinlich daß auch leitende Körper, wenn sie isolirt an einander gerieben werden, Elektricität erregen. Ja wir werden in der Folge sehen, daß selbst

zwei ungleichartige Metalle durch die bloße Berührung entgegengesetzt elektrisch werden.

§. 6. Es ist gegenwärtig sehr leicht, beide Arten der Elektricität zu unterscheiden. Die dazu erfoderliche Geräthschaft ist 1) ein empfindliches (Saussurisches, Bennetisches, Voltaisches ꝛc.) Elektrometer, 2) eine Stange Siegellack, und ein kleiner Überträger (XXXVI. 15.).

Mit dem Körper, in welchem man Elektricität vermuthet, berührt man den isolirten Knopf des Elektrometers. Ist wirklich bemerkliche Elektricität vorhanden, so gehen die Pendel auseinander. Ist die Elektricität so stark, daß die Fäden an dem Glas anschlagen, so muß man sie durch Berührung des Knopfes wieder herausziehen, und sie dann von neuem bloß mittelst des Überträgers dem Knopfe mittheilen, bis die Pendel eine hinlänglich bemerkbare und bleibende Divergenz haben. Die so mitgetheilte Elektricität ist allezeit gleichartig der des untersuchten Körpers. Nähert man nun dem Knopfe eine geriebene Siegellackstange, welche allezeit harzelektrisch ist, so wird die Elektricität des Knopfes, wenn es Harz-Elektricität ist, verstärkt, und die Fäden gehen weiter auseinander; hat dagegen der Knopf Glas-Elektricität, so wird sie geschwächt, und die Fäden gehen zusammen.

Eine vollständigere Erklärung dessen, was eigentlich in dem Elektrometer bei Versuchen dieser Art vorgeht, muß dem folgenden Capitel vorbehalten bleiben.

Ein noch bequemeres Mittel beide Elektricitäten zu unterscheiden, werden wir in der Folge in dem Bohnenbergerschen Elektrometer (XL. 10.) kennen lernen.

Elektrische Erscheinungen im Finstern und in verdünnter Luft.

§. 7. Im Finstern zeigt sich der Unterschied beider Elektricitäten noch auf eine andere merkwürdige Art, durch eine Verschiedenheit der Lichterscheinungen, wenn die Elektricität durch Spitzen geleitet wird.

Ist der Conductor mit + E geladen, und man nähert sich ihm mit einer Metallspitze, so zeigt sich schon in beträchtlicher Entfernung ein Lichtstern oder Lichtpunkt an der Spitze, der lebhafter wird, je näher man kommt. Befestigt man die Spitze am Conductor, und nähert sich dann der Spitze mit der Hand oder einem andern leitenden Körper, so zeigt sich an derselben nicht ein Stern, sondern ein divergirender (auseinanderlaufender) Strahlenbüschel.

Ist hingegen der Conductor mit — E geladen, so sind beide Erscheinungen gerade umgekehrt.

§. 8. Obgleich die trockne atmosphärische Luft ein guter Nichtleiter ist, so ist doch eine stark verdünnte Luft ein guter Leiter. Verdünnt man die Luft in irgend einem gläsernen Gefäß, das an beiden Enden durch Metall luftdicht geschlossen ist, am einfachsten in einer Glasröhre, die von beliebiger Länge und Durchmesser sein kann, oder auch in einer Glocke, die oben mit Metall geschlossen ist, und unten auf einem Teller steht, der sich vermittelst eines unter ihm befindlichen Hahns auf der Luftpumpe an- und abschrauben läßt: so kann man die Elektricität im Finstern in Gestalt eines matten mit verschiedenen Farben spielenden Lichts durch die verdünnte Luft hindurchströmen sehen, wenn man das eine Ende des Gefäßes mit dem Conductor verbindet, am andern aber eine Ableitung nach dem Erdboden anbringt.

Diese Erscheinung, die man das elektrische Nordlicht nennt, dauert fort, so lange die Scheibe gedreht wird.

Man kann allerlei Abänderungen dieses Versuchs machen, die zum Theil artige Lichterscheinungen geben. Ist das Gefäß eine Röhre, und bringt man zwei einwärts gehende Spitzen an beiden Enden an, so strömt das Licht aus der einen divergirend aus, und in die andere convergirend ein. Ist das Gefäß eine Glocke, und man befestigt inwendig am obern Deckel ein Metallstäbchen, an dessen Ende man einen wagrecht liegenden Stern mit Spitzen anschraubt, so strömt das elektrische Licht aus jeder Spitze nach dem Teller herab, und giebt den Anblick einer Feuerfontaine; schraubt man statt des Sterns Ringe oder anders gestaltete Körper an, so kann man allerlei Abänderungen in der Gestalt des Lichtstroms hervorbringen. Auch gehört hieher die elektrische Sonne, und die sogenannten elektrischen Schlangen. Auch das Phosphoresciren vieler Barometer beruht auf denselben Gesetzen, indem durch das Reiben des metallischen Queckfilbers am Glase, bei dem Auf- und Niederschwanken des Queckfilbers, Elektricität erregt wird.

§. 9. Ein bemerkenswerther Umstand bei diesen Versuchen ist folgender. Nähert man der Glasröhre, in welcher das elektrische Licht strömt, einen Leiter, so entsteht an der Stelle, wo er sich nähert, eine eigene Bewegung des elektrischen Lichts. Kommt man nahe heran, so erhält man sogar Funken, die aber von sehr veränderlicher Stärke sind. Diese Beobachtung beweist unwidersprechlich, daß die Elektricität, selbst durch das nichtleitende Glas hindurch wirkt.

Es giebt außer dem im §. angeführten, sehr viele andere Versuche, welche unzweideutig zeigen, daß die Elektricität durch Glas und andere nichtleitende Körper hindurch wirke. Einer der einfachsten ist folgender. Kleine Stückchen Papier oder andere Körperchen werden von dem Conductor der Maschine eben so angezogen und abgestoßen, wenn man sie in

einen Kolben oder eine Retorte von starkem Glas legt, und so dem Conductor nähert, als wenn man sie unmittelbar an denselben bringt. Auch ist bekannt, daß man die Elektricität durch einen Metalldraht, der überall mit Siegellack umflossen, und in dicke Lagen desselben eingehüllet ist, leiten könne, wohin man will; wobei man schwerlich annehmen kann, daß die Elektricität sich bloß zwischen dem Siegellack und Metall durchschleiche, nicht aber das Innere des Metalls durchdringe. Indessen sind jetzt die berühmtesten Physiker fast einstimmig der Meinung, daß die Elektricität nicht in das Innere der Körper eindringe, sondern sich bloß auf der Oberfläche häufe, und daselbst nur durch den Druck der nichtleitenden Luft festgehalten werde, indem nach Coulomb's Behauptung, zwischen der elektrischen und andern körperlichen Materien gar keine Verwandtschaft statt finde. Ein Lehrbuch kann nicht der Ort zur Erörterung einer so feinen Frage sein; doch glaubte der Verfasser, sie nicht mit Stillschweigen übergehen zu dürfen. Wer nähere Auskunft über die Versuche und Schlüsse sucht, auf welche sich diese Behauptung gründet, findet sie in Biot's Essai de Phys. exp. et math. Tom. II. Liv. III; desgleichen in desselben Verfassers Erfahrungs-Naturlehre (in der deutschen Übersetzung von Wolff, Th. I. S. 666. und 681. ff.). Auch vergleiche man Cavallo's Abhandlung von der Elektricität (Leipzig 1785. S. 99. und 145.).

§. 10. Die Erscheinungen des elektrischen Nordlichts sind bei beiden Elektricitäten wenig oder gar nicht verschieden. Franklin und mehrere Anhänger seiner Hypothese über die Elektricität glaubten, daß ein Unterschied darin bestehe, daß, wenn der Conductor mit + E geladen ist, die Elektricität allezeit aus dem Conductor auswärts ströme; wenn er hingegen mit — E geladen ist, so ströme das elektrische Licht aus dem Erdboden in den Conductor. Indessen war dieß mehr eine Folgerung aus der Hypothese, als eine Beobachtung: denn bei der genausten Aufmerksamkeit findet man es bei allen Bewegungen des elektrischen Lichtes durchaus un-

möglich, die Richtung der Bewegung zu unterscheiden, weil sie mit augenblicklicher Geschwindigkeit geschieht. Einem aufmerksamen Auge scheint die Bewegung bald hin, bald her zu gehen, bald scheint die Lichterscheinung von beiden Seiten gegen einander zu strömen.

Franklin's Hypothese.

§. 11. Nach Franklin sind die elektrischen Erscheinungen Wirkungen einer einzigen unendlich feinen Materie, die sich nach ähnlichen Gesetzen als der Wärmestoff (XIX.) durch alle Körper verbreitet. Seine Theile stoßen einander ab, werden aber von andern Körpern mehr oder weniger angezogen. So lange diese elektrische Materie in einem System von Köpern sich im Zustande des Gleichgewichts befindet, so lange zeigen sich nirgends elektrische Erscheinungen. Häuft sich hingegen diese Materie irgendwo über den Punkt des Gleichgewichts an, oder vermindert sie sich unter denselben, so ist der Körper in beiden Fällen elektrisirt; im ersten Fall positiv, im zweiten negativ; und die elektrischen Erscheinungen rühren von dem Bestreben der elektrischen Materie her, das aufgehobene Gleichgewicht wieder herzustellen.

§. 12. Hauptsächlich die Beobachtung, daß das Reibezeug nicht isolirt sein dürfe, war es, was Franklin sehr natürlich auf diese Vorstellungsart leitete. Denn in der That ist man beinahe gezwungen anzunehmen, daß die Elektricität, welche sich auf der Scheibe häuft, aus dem Reibezeug herbeiströme. Die Elektrisirung des Conductors mit beiden Arten von Elektricität, erklärt sich sehr einfach aus dieser Hypothese. Auch ist nicht zu leugnen, daß die meisten elektrischen Erscheinungen sich

ziemlich gut an dieselbe anschließen. Doch ist schon die Erklärung des Anziehens und Abstoßens nicht ganz ohne Schwierigkeit. Nähern sich einander zwei positiv elektrische Körper, so sind es die beiden umgebenden gedrängteren Atmosphären von elektrischer Materie, welche einander zurückstoßen.

Sind aber ein positiv- und ein negativ-elektrischer Körper einander nahe, so nähern sie sich, weil die positive Atmosphäre des erstern von der Masse des letztern Körpers angezogen wird. Schwieriger, und nur auf eine gekünstelte Art läßt sich das Abstoßen zweier negativelektrischen Körper erklären. Man kann das Auseinandergehn der Körper nicht wohl einer wirklichen Abstoßung zuschreiben, sondern man muß sagen, daß die außerhalb der negativen Atmosphäre rings herum, und besonders zu beiden Seiten befindliche elektrische Materie die Masse des einen Körpers nach der rechten, die des andern, nach der linken Seite hinziehe.

Wer diese Hypothese aus der ersten Quelle kennen lernen will, sehe Franklin's Briefe über die Elektricität, übersetzt von Wilke; Leipzig 1758.

Symmer's Hypothese.

§. 13. Robert Symmer stellte im ersten Theil des 51sten Bandes der Schriften der Londoner Societät (Philosophical Transactions) eine andere Hypothese auf, welche die Franklinische bei vielen Naturforschern verdrängt hat, weil sie sich in der That besser an alle Erscheinungen anschließt. Nach Symmer giebt es zwei elektrische Materien, die sich einander anziehen, und, so fern sie von gleicher Stärke sind, einander gegenseitig

binden, da hingegen die Theile jeder, einzeln genommen, einander abstoßen. Aus ihrer Verbindung, die man gebundene Elektricität nennt, und die wir durch ± E bezeichnen wollen, entsteht der unelektrische Zustand; aus ihrer Trennung der elektrische. Anhäufung der einen bringt die Erscheinungen der Glaselektricität, Anhäufung der andern die Erscheinungen der Harzelektricität hervor.

§. 14. Haben zwei Körper beide + E, oder beide — E, so stoßen sich ihre gleichartigen Atmosphären ab; hat der eine + E und der andere — E, so ziehen sich ihre ungleichartigen Atmosphären an.

Durch das Reiben wird die gebundene Elektricität ± E des Reibezeugs zersetzt; die Scheibe zieht vermöge einer stärkeren Affinität + E an, und die freigewordene — E des Reibezeuges entweicht durch die Ableitung; statt ihrer strömt neue ± E durch eben die Ableitung; aus dem Erdboden zu, und der beschriebene Proceß geht ununterbrochen fort, so lange die Scheibe gedreht wird.

Eben so ungezwungen erklären sich selbst verwickeltere elektrische Erscheinungen, die in der Folge vorkommen werden, aus dieser Hypothese.

Was dieser Vorstellungsart einen besondern Werth giebt, ist, daß sie einen Vortrag zuläßt, bei welchem alles Hypothetische vermieden wird. Das einzige Hypothetische nämlich, was sie enthält, ist: das Dasein zweier verschiedener Materien, alles übrige sind unstreitige Thatsachen, nämlich: 1) daß es eine doppelte Art von Elektricität gebe; 2) daß die gleichartige sich abstoße, entgegengesetzte aber sich anziehen; 3) daß gleich starke Elektricitäten beider Art sich vernichten; bringt man aber ungleiche zusammen, so vernichtet die schwächere nur einen Theil der stärkern; 4) daß jeder elektrisirte Körper um sich herum einen gleichartigen Wirkungskreis bilde. Vermeidet man also nun den Aus-

druck Materie, und versteht unter +E und —E nur die Erscheinungen, die sich in diesen Thatsachen aussprechen, ohne zu bestimmen, ob sie durch eine oder durch zwei Materien, oder überhaupt, auf welche Art sie hervorgebracht werden, so ist klar, daß in den Erklärungen nach dieser Vorstellungsart durchaus nichts Hypothetisches übrig sei. Doch werden die Erklärungen deutlicher und anschaulicher, wenn man sich feine, nicht wahrnehmbare Materien, als Ursache dieser Erscheinungen vorstellt.

Anm. Sowohl bei der Franklinischen als bei der Symmerschen Hypothese muß ausdrücklich bemerkt werden: jeder Körper nehme im Zustande des elektrischen Gleichgewichts so viel von den elektrischen Materien auf, als seiner Anziehung gegen dieselben gemäß sei. D. h. es wird eine Verwandschaft zwischen den Körpern und der Elektricität angenommen. Dieses steht im Widerspruch mit der schon oben (Anm. zu §. 9. des vor. Cap.) angeführten Ansicht neuerer berühmter Physiker. Indessen muß der Verfasser bekennen, daß es ihm schwer wird, sich von der Richtigkeit dieser Ansicht zu überzeugen, da es ihm, um nur einen Grund zu erwähnen, unmöglich scheint, das verschiedene Leitungsvermögen der Körper ohne Verwandschaft zu begreifen.

§. 15. Ältere Hypothesen sind gänzlich unbrauchbar, höhstens ist die De Luc'sche einiger Beachtung werth. Er hat sie in seinen Neuen Ideen über die Meteorologie, umständlich aus einander gesetzt. Eine kurze Darstellung dieser und mehrerer anderer Hypothesen findet man in den phys. Wörterbüchern, unter dem Artikel Elektricität.

Der Verfasser ist geneigt zu bezweifeln, ob irgend eine von allen bis jetzt aufgestellten Hypothesen die Wahrheit errathen habe. Ja er hält es für denkbar, daß vielleicht die Ursache der elektrischen Erscheinungen eben so, wie die Ursache der Schwere, gänzlich außerhalb der Gränzen dessen liegen möchte, was nach der Natur unserer geistigen Kraft vorstellbar ist. Nur die Wirkungen der Kräfte in den wahr-

nehmbaren Körpern können wir beobachten, und die Gesetze, unter welchen sie stehen. Auf diese allein hat daher der Naturforscher seine Aufmerksamkeit zu richten. Nach dieser Ansicht, hat aber der Symmersche Dualismus den unleugbaren Vorzug, daß man durch denselben die Gesetze der elektrischen Erscheinungen mit einer gewissen Anschaulichkeit vortragen kann. Er kann aber zu keinem Irrthum verleiten, wenn man sich überall nur scharf an die Thatsachen hält.

Achtunddreißigstes Capitel.

Elektrischer Wirkungskreis und Schlagweite. Verstärkte Elektricität.

Wirkungskreis und Schlagweite.

§. 1. Schon bei den im 6ten §. des vorigen Capitels beschriebenem Gebrauch des Elektrometers zur Unterscheidung beider Arten von Elektricität zeigt sich, daß diese Kraft nicht bloß bei der Berührung, sondern schon in einiger Entfernung Wirkungen hervorbringe. Noch anschaulicher wird dieses, wenn man in einiger Entfernung von der Maschine ein Elektrometer aufstellt. Sobald die Scheibe gedreht wird, gehen die Pendel desselben auseinander, und dieses geschieht schon in desto größerer Entfernung, je stärker die Elektricität, und je empfindlicher das Elektrometer ist. Die so erregte Elektricität nimmt aber bei dem Stillstehn der Scheibe in demselben Verhältniß ab, in welchem sich die Elektricität des Conductors wieder zerstreut.

Man nennt nun den ganzen Raum, innerhalb dessen bemerkbare Wirkungen erfolgen, den elektrischen Wirkungskreis. Es ist für die Lehre von der Elektricität

äußerst wichtig, die Gesetze, unter denen diese Wirkungen stehen, genauer zu kennen.

§. 2. Die erste Erscheinung im Wirkungskreise, ist die schon oben (XXXVI. 15.) erwähnte Mittheilung der Elektricität an leitende Körper. Sie geschieht am vollständigsten, nur unsichtbar, bei der Berührung. Sichtbar aber erfolgt sie, vermittelst eines überschlagenden Funkens, schon in einiger Entfernung, welche man die Schlagweite nennt. Ist der Leiter gut isolirt, so behält er die mitgetheilte Elektricität, auch wenn man ihn von dem Conductor der Maschine entfernt. Ist er aber nicht isolirt, so erfolgt zwar auch der Übergang, aber die mitgetheilte Elektricität strömt unbemerkt durch die Ableitung hinweg.

Die Schlagweite ist sehr veränderlich, nach der Stärke der Elektricität, nach dem mehr oder minder leitenden Zustande der Luft, und selbst nach der Beschaffenheit und Gestalt des Leiters (XXXVI. 13.). Die Güte einer Elektrisir-Maschine pflegt man nach der größten Schlagweite zu schätzen, in welcher sie einer etwas großen metallenen Kugel, oder auch den Knöcheln der Hand des Beobachters, einen Funken giebt. So sagt man z. B. eine Maschine gebe sechszöllige Funken, wenn die größte Schlagweite ungefähr 6 Zoll beträgt.

§. 3. Um deutlich zu zeigen, was außer der Schlagweite geschieht, schicken wir folgende allgemeine Betrachtung voraus.

Es ist schon oben (XXXVII. 3.) gezeigt worden, daß der unelektrische Zustand entstehet, wenn gleiche Grade beider Elektricitäten in demselben Raume zusammen gebracht werden. In diesem Zustande bewirkt die $\pm$ E keine Anziehungen und Abstoßungen, und über-

haupt keine elektrischen Erscheinungen, wie gehäuft sie auch sein mag.

Wird dagegen der eine Bestandtheil der ± E über den Punkt der Gleichheit in demselben Raume vermehrt, so wirkt dieser Überschuß als freie Elektricität. Dieses ist der Fall bei der Mittheilung.

Es giebt aber noch eine andere Art, die Wirksamkeit des einen Bestandtheils (etwa der + E), ohne Veränderung der Menge, in einem gewissen Grad frei zu machen; wenn sich nämlich die ± E, in der Nähe einer gehäuften Elektricität derselben Art (+ E) befindet, unter Umständen, welche eine Mittheilung wo nicht gänzlich hindern, doch erschweren. Denn in diesem Fall kann die anziehende Kraft beider Arten von Elektricität zwar keine wirkliche Vereinigung der gehäuften Elektricität (+ E) mit der in dem benachbarten Raume enthaltenen — E bewirken; aber sie schwächt doch die Kraft, mit welcher diese — E an ihr + E gebunden ist; und es muß daher die Kraft der + E in eben dem Maaße frei werden. Dieses Verhältniß kommt unter mehrern Umständen vor. Hier wird es genügen, zu zeigen, wie um jeden Körper, in welchem die eine Elektricität gehäuft ist, in der umgebenden Luft die gleichartige Elektricität frei wird, aber mit stätig abnehmender Stärke, bis zu einer unbestimmten Entfernung.

Dieses ist der Ursprung des elektrischen Wirkungskreises, dessen elektrische Thätigkeit man Elektricität durch Vertheilung nennt, um sie von der durch Mittheilung entstandenen zu unterscheiden.

Der Hauptunterschied zwischen mitgetheilter und vertheilter Elektricität besteht darin, daß die erste in einem gut isolirten Körper bleibend ist; die Erscheinungen

der vertheilten hingegen verschwinden, sobald der Wirkungskreis nicht mehr da ist.

Der Körper K Fig. 76. (welcher kugelförmig sein mag) enthalte einen Überschuß von + E, die umgebende Luft aber bloß die natürliche ± E. Ist die Luft völlig wasserfrei, so darf man sie als völlig nichtleitend betrachten, und unter dieser Voraussetzung findet also keine Mittheilung von dem gehäuften + E an die Luft statt. Nun theile man aber in Gedanken die umgebende Luft, in unendlich dünne concentrische Schichten, so ist die + E des Körpers in Berührung mit der ± E der ersten, unmittelbar berührenden Luftschicht. Ohngeachtet der starken Anziehung jener + E, gegen das — E dieser Schicht, kann sie sich aber unter der gemachten Voraussetzung nicht mit derselben wirklich verbinden. Ihre Anziehung muß sich also darauf beschränken, diese — E festzuhalten, und die Kraft mit der sie an ihr + E gebunden war, wo nicht ganz doch größtentheils aufzuheben; wodurch dieses + E in den Zustand von Freiheit versetzt wird. Was aber der Körper K auf die erste Luftschicht wirkt, dasselbe wirkt die erste auf die zweite, die zweite auf die dritte, und so fort, jede auf die nähstfolgende. Nur begreift man, daß diese Wirkung von Schicht zu Schicht abnehmen müsse.

Es ist also klar, daß unter den gemachten Voraussetzungen, die ganze umgebende Luft, zwar nichts als ihre natürliche ± E enthalte, daß aber dennoch derjenige Bestandtheil, welcher der Elektricität des Körpers gleichartig ist, sich bis zu einer unbestimmten Entfernung, in einem Zustande von Freiheit befinde, doch so, daß die Kraft derselben mit der Entfernung stätig abnimmt.

Dieses ist die genetische Erklärung des Wirkungskreises, aus welchem sich alle Erscheinungen befriedigend erklären lassen.

§. 4. Ein Wirkungskreis, in welchem in der That keine andere als vertheilte Elektricität thätig wäre, könnte offenbar nur entstehen, wenn zwischen dem elektrisirten Körper und der Luft gar keine Mittheilung

statt fände. Dieses ist aber in der Wirklichkeit nie der Fall, da die Luft stets mehr oder weniger leitenden Wasserdunst enthält. Es befindet sich daher jederzeit in dem Wirkungskreise auch einige mitgetheilte Elektricität, welche bisweilen auf die Erscheinungen der dem Wirkungskreise ausgesetzten Körper bedeutenden Einfluß hat. Man muß daher bei Beurtheilung der Versuche das Dasein einiger mitgetheilten Elektricität nie unbeachtet lassen, ihre Menge aber auf das möglichste zu vermindern suchen.

Vermindern kann man sie durch zwei Mittel: a) dadurch daß man die Versuche, wo möglich, nur bei recht trockner und reiner Luft anstellt; und b) dadurch, daß man nur schwache Elektricitäten anwendet. Des letzten Umstandes wegen, ist die Elektricität der Maschine zu den Versuchen über den Wirkungskreis in den meisten Fällen zu stark. Wir wollen daher kürzlich die einfachste und zweckmäßigste Art, die hieher gehörigen Versuche anzustellen, beschreiben.

Zu dem elektrisirten Körper, dessen Wirkungskreis man beobachten will, ist nichts so bequem, als der Knopf einer mäßig geladenen Verstärkungsflasche. Denn obgleich die Theorie derselben erst im Folgenden vorgetragen werden kann, so genügt es doch hier vorläufig zu bemerken, daß sich ihre freie Elektricität von der gemeinen bloß dadurch unterscheidet, daß man ihr a) beliebige Grade der Stärke geben kann, b) dadurch daß sie die Elektricität weit fester hält, und der ableitenden Kraft der Luft viel weniger Einfluß gestattet. Einen solchen Knopf mag der Kreis K Fig. 76. vorstellen.

Der leitende Körper, den man in den Wirkungskreis bringt, ist bei den meisten Versuchen am besten ein gerader dünner, an beiden Enden abgerundeter, 12 oder mehr Zoll langer Stab von Metall. Einen solchen mag AB Fig. 76. vorstellen. Er wird auf einem gut isolirenden Gestell befestigt, und am besten während des Versuches gar nicht verrückt, da es leichter ist, den elektrischen Knopf K zu nähern oder zu

entfernen. Man stellt ihn in die verlängerte Achse des Leiters, nur nicht so nahe, daß A die Schlagweite erreicht.

Ein langer Leiter ist nöthig, wenn man den Einfluß des Wirkungskreises in merklich verschiedenen Entfernungen von K beobachten will.

Wie der elektrische Zustand des Leiters in jedem Punkte beschaffen sei, beobachtet man entweder dadurch, daß man in den Endpunkten A und B, desgleichen in zwei oder mehr beliebigen Zwischenpunkten, wie in der Figur angedeutet ist, kleine Faden-Elektrometer befestigt. Divergiren dann die Fäden, so kann man durch eine geriebene Siegellackstange die Art der Elektricität prüfen. Man muß aber die Stange dem Leiter von obenher nähern, wovon sich der Grund in dem folgenden §. zeigen wird. Fast noch bequemer aber ist es, statt solcher Faden-Elektrometer ein einziges empfindliches Elektrometer zu brauchen, dem man die Elektricität von einer zu untersuchenden Stelle des Leiters durch einen Überträger zubringt.

Mit dieser einfachen Geräthschaft werden die in der Folge zu beschreibenden Versuche nicht leicht mißlingen.

§. 5. Ein etwas langer Leiter, dessen Achse einem elektrisirten Körper zugekehrt ist, zeigt an dem nahen Ende entgegengesetzte, an dem entfernteren gleichartige Elektricität mit dem Wirkungskreise. Zwischen beiden Enden aber ist eine Stelle, die gar keine Elektricität zeigt, und die man den Indifferenzpunkt nennt.

Befindet sich in Fig. 76. der Leiter AB in der im §. angegebenen Lage, gegen den elektrischen Körper K, welcher, so wie sein Wirkungskreis, +E enthalten mag, so ist der Leiter überall mit freier +E in Berührung. Diese +E ist aber bei A viel stärker als bei B. Folglich wird die in der natürlichen ±E des Leiters enthaltene —E stärker nach A als nach B gezogen. Daher häuft sich die —E bei A, die +E aber wird gegen B hin getrieben. Zwischen beiden Enden muß es also eine Stelle geben, wo gleichviel +E und —E ist, wo sich also der Indifferenzpunkt befindet.

Hätten der Körper und der Wirkungskreis — E, so würde sich bei A die + E, bei B die — E zeigen.

Dieses ist eigentlich der Hauptversuch für die Lehre von dem elektrischen Wirkungskreise, und daher sorgfältig zu beachten.

Anm. Man übersehe nicht, daß der Erfolg nicht bloß von dem Wirkungskreise, sondern auch von der Gestalt, Größe und Lage des Leiters abhängig ist. Wäre der Leiter sehr kurz, oder hätte er eine solche Gestalt und Lage, daß alle seine Theile ungefähr von K gleichweit entfernt wären, so würde seine ± E sich nicht wirklich scheiden können, sondern es würde bloß der eine Bestandtheil in einem gewissen Grade gebunden, der andere frei sein.

§. 6. Aus dem vorigen §. wird erst deutlich, was bei der Mittheilung der Elektricität durch einen Funken geschehe. Rückt man nämlich den elektrisirten Körper K immer näher an AB, so wird die bei A gesammelte Elektricität einem stätig zunehmenden Zuge ihres Gegensatzes ausgesetzt. In einer gewissen Nähe wird dieser Zug so stark, daß eine wirkliche Verbindung beider Elektricitäten erfolgt, welches immer vermittelst eines Funkens geschieht. In diesem Augenblick verbreitet sich die in Bewegung gesetzte Elektricität gleichförmig durch K und AB, wodurch dem Leiter nothwendig ein Übermaaß von derjenigen Elektricität, welche K hat, mitgetheilt wird.

§. 7. Wenn bei dem Versuche des §. 5. dem Leiter AB, außer der vertheilten Elektricität, welche er enthält, noch eine kleine Menge von + E, oder — E mitgetheilt wird (es sei absichtlich vor oder nach dem Versuche, oder es geschehe wider Willen während des Versuchs durch einige im Wirkungskreise vorhandene mitgetheilte Elektricität), so wird dadurch im Leiter die gleichartige verstärkt, die entgegengesetzte geschwächt. Man wird daher den Einfluß einer dem Wirkungskreise

fremden Elektricität im Allgemeinen richtig beurtheilen können, wenn es auch oft nicht möglich ist, das Maaß desselben genauer zu bestimmen.

Gesetzt der Leiter hat, wie im 5ten §. angenommen war, bei A vertheilte — E, bei B aber + E, und man theilte nun derselben eine anderweitige kleine Menge von — E mit, so wird die — E dadurch bei A verstärkt, bei B wird die + E geschwächt, also der Indifferenzpunkt näher nach B gerückt. Das Umgekehrte erfolgt, wenn man ihm + E mittheilt. Theilte man aber dem Leiter eine bedeutende Menge von + E oder — E mit, so ist klar, daß dadurch der Einfluß des Wirkungskreises fast ganz vernichtet werden könnte. Dieses ist der Hauptgrund, warum der Körper K keine sehr starke Elektricität haben darf, und warum die Versuche oft abweichende Resultate geben.

§. 8. Wenn man bei dem Versuche des §. 5. den Leiter bei B ableitend berührt, so bleiben wenig oder gar keine Zeichen von Elektricität übrig, selbst nachdem die Isolirung wieder hergestellt ist. Entfernt man aber jetzt den Körper K, d. h. den Wirkungskreis, so zeigt sich der ganze Leiter entgegengesetzt elektrisch, und zwar bleibend, als ob es mitgetheilte Elektricität wäre. Giebt man aber dem Leiter bei B eine beständige Ableitung, so zeigt sich doch bei A eine schwache entgegengesetzte Elektricität.

Berührt man den Leiter bei B, so entweicht die bei B gesammelte + E durch die Ableitung. Die — E kann nicht entweichen, weil sie durch die + E des Wirkungskreises gebunden ist. Aus eben dem Grunde kann sie auch wenig oder gar nicht auf ein Elektrometer wirken, und dieser Zustand bleibt unverändert, auch wenn die Isolirung wieder hergestellt ist. Entfernt man dagegen den Wirkungskreis, so hört diese Bindung auf, und der ganze Leiter enthält also freie — E.

Wird die Ableitung bleibend gemacht, so wird dennoch die — E bei A durch den Wirkungskreis verhindert abzu-

strömen, und ihre Gegenwart kann durch ein Elektrometer bemerkbar gemacht werden.

Man darf nur die Zeichen + und — vertauschen, um einzusehen, was erfolgen würde, wenn der Körper K und der Wirkungskreis freie — E hätten.

Anm. Sollte Jemand fragen, wie es zugehe, daß man von dem Ende A des Leiters die Elektricität einem Elektrometer durch einen Überträger zubringen könne, da sie doch gebunden ist; so muß man erwägen, daß der Überträger eine kleine isolirte Nadel ist, die, so lange sie am Leiter anliegt, ein Theil desselben wird, also an dem innern Zustande seiner Elektricität Theil nimmt, und dieses um so sicherer, da die durch bloße Berührung entstehende Bindung nie so stark ist, als die, welche durch wirkliche Vereinigung beider Elektricitäten entsteht. Sie erschwert nur die Bewegung der Elektricität, ohne sie gänzlich zu hindern.

Anwendung der Theorie des Wirkungskreises auf die Elektrometer.

§. 9. Es ist hier der Ort, wo die Theorie der gebräuchlichsten Elektrometer, namentlich das Saussure'schen, des Bennet'schen und des Volta'schen vollständiger, als es oben (XXXVI. 12.) möglich war, vorgetragen werden kann. Ihre Construction und ihr Gebrauch ist nicht wesentlich verschieden, und beruhet auf der Theorie des Wirkungskreises.

Construction. Ein oben und unten offnes Gefäß von Glas, ist unten durch einen metallenen Boden geschlossen. Oben kann man es durch einen Deckel von Metall oder Glas schließen. Der Deckel ist in der Mitte durchbohrt. Durch das Loch wird ein kurzer Cylinder von Metall, der sich oben in einen runden Knopf endet, eingeschoben, oder eingeschraubt. Der untere Theil des Cylinders reicht nur wenig in das Gefäß, und an demselben sind die beiden kleinen elektrischen Pendel befestigt.

Bloß in der Beschaffenheit dieser Pendel unterscheiden sich die genannten drei Elektrometer. Am Saussure'schen

sind es zwei sehr feine Silberfäden, an deren unterem Ende zwei kleine Kugeln von Holundermark befestigt sind; am Bennet'schen sind es zwei schmale Streifen von ächtem Plattgold; bei dem Volta'schen zwei feine Stroh- oder Grashalme. Beide Pendel müssen parallel neben einander herabhangen, ohne sich zu berühren. Daher muß jedes seine eigene Aufhängung haben, in welcher sie sich möglichst frei, und zwar in der durch die Achsen der beiden Pendel gelegten Ebene bewegen können.

Man macht die Pendel kleiner oder größer, je nachdem das Instrument mehr oder weniger empfindlich sein soll. Von ihrer Größe hängen die Dimensionen des Gefäßes ab: denn das untere Ende der Pendel muß vom Boden und von den Seitenwänden mindestens etwa einen halben Zoll, und bei größeren Pendeln noch mehr abstehen.

An zwei gegenüberliegenden Stellen der inneren Gefäßwand sind Streifen von Staniol angeklebt, die unten mit dem metallenen Boden in leitender Verbindung stehen, oben aber nur ein wenig bis über die Stelle reichen, wo die Pendel an die Gefäßwand anschlagen können.

Der Knopf mit den Pendeln muß sich drehen lassen, und so gestellt werden, daß die Pendel, wenn sie aufschlagen, nur die Zinnfolie nicht das Glas treffen können.

Dieses ist die wesentliche Einrichtung eines solchen Instruments.

Gebrauch. Vermöge der beschriebenen Construction ist der Knopf nebst den Cylindern und den Pendeln, ein kleiner isolirter Leiter, der vor dem Gebrauche bloß die natürliche ± E hat.

Nähert man demselben eine geriebene Siegellackstange, so bringt man ihn in einen Wirkungskreis von Harz-Electricität; dieser zieht die + E nach dem Knopfe, und treibt die — E in das Pendel, die daher durch eine dem Wirkungskreise gleichartige Elektricität aus einander gehen. Was die Annäherung einer geriebenen Glasstange bewirken würde, ist leicht zu errathen. Bei solchen Versuchen ist es bloß die vertheilte Elektricität, welche die Pendel bewegt. Sie divergiren stärker oder schwächer, je nachdem man mit dem elektrischen Körper sich nähert oder entfernt, und bei einer gewissen Entfernung fallen sie wieder gänzlich zusammen.

Berührt man aber den Knopf mit einem Körper, dessen elektrischen Zustand man untersuchen will, so bleiben die Pendel ruhig hangen, wenn er keine bemerkbare Elektricität hat. Ist er aber elektrisch, so theilt man dem Instrument dieselbe mit, und die Pendel divergiren nun durch mitgetheilte Elektricität. Daher müssen die Pendel jetzt aus einander bleiben, wenn man den elektrischen Körper entfernt. Bringt man dann durch Annäherung von geriebenem Siegellack den Knopf in einen harzelektrischen Wirkungskreis, so wird die mitgetheilte Elektricität, wenn sie — E ist, verstärkt, und die Pendel divergiren stärker; ist aber die mitgetheilte Elektricität + E, so wird sie geschwächt, und die Pendel gehen zusammen.

Ist die mitgetheilte Elektricität so stark, daß die Pendel anschlagen, so bleiben sie gewöhnlich an den Zinkstreifen hängen. Man muß dann den Knopf ableitend berühren, auch wohl eine kleine Erschütterung zu Hülfe zu nehmen, um sie loszumachen, und die mitgetheilte Elektricität wieder wegzunehmen. Am sichersten bewirkt man die Mittheilung durch einen Überträger.

Anm. Es ist ein lästiger Fehler vieler Elektrometer, daß sie mitgetheilte Elektricität nicht fest halten. Das Volta'sche ist diesem Fehler weniger unterworfen als die beiden andern, weil Metall die Elektricität weniger festhält, als trockene Grashalme.

Die verstärkte Elektricität.

§. 10. Im Jahr 1745 wurde die verstärkte Elektricität zu gleicher Zeit von zwei Naturforschern zufällig entdeckt, von Muschenbröck in Leyden, und von dem Domherrn von Kleist in Camin. Der erste wollte Wasser in einem großen Zuckerglase, das er im Arm hielt, elektrisiren, und ließ die Funken durch einen hineingelegten Metallstab gehen. Als er zufällig diesen Stab berührte, erhielt er einen höhst empfindlichen Schlag; eine Erscheinung die damals ganz unbekannt war. Der andere wollte Eisenfeile in einem Glasbe-

cher elektrisiren, und erhielt einen Schlag, als er zufällig mit einer Hand den Glasbecher umfaßte, und mit der andern den Stab berührte, wodurch die Elektricität hinein geleitet wurde. Diese Versuche wurden häufig wiederholt, und man fand bald die Bedingungen, unter denen diese Erscheinung erfolgte. Die zu dem Versuche vorgerichtete Flasche nannte man die Leydensche oder Kleistische. Jetzt nennt man sie Verstärkungs-Flasche.

§. 11. Die einfachste Einrichtung, die man gegenwärtig diesen Flaschen giebt, ist folgende:

Ein Becher von dünnem Glase (z. B. ein Berliner Quart-Glas) wird inwendig und auswendig mit Staniol überklebt, doch so, daß der obere Rand einen bis anderthalb Zoll unbedeckt bleibt. Diesen Rand kann man noch mit einem Firniß oder mit Siegellack überziehen, damit die innere Belegung desto vollkommener isolirt sei, und mit der äußern keine leitende Verbindung habe. In der Mitte des Bechers stellt man (durch leicht auszudenkende Vorrichtung) einen runden Metallstall auf, der mit der innern Belegung in leitender Verbindung steht, und ein Paar Zoll aus dem Becher hervorsteht. Oben wird er abgerundet, oder man schraubt eine kleine Metallkugel auf.

§. 12. Der Gebrauch der Flasche ist folgender. Um die Flasche zu laden, setzt man die äußere Belegung mit dem Erdboden in leitende Verbindung, indem man sie z. B. mit der Hand umfasset, dann hält man den Knopf, während die Scheibe fortwährend gedreht wird, an den Conductor, oder nähert ihn auch nur demselben. Im letztern Falle sprühen kleine Funken aus dem Conductor gegen den Knopf. Sie sind

desto kleiner, und folgen desto schneller auf einander, je näher man zu dem Conductor kommt. Wenn die Funken langsamer und matter zu gehen anfangen, ist es Zeit, die Flasche wegzunehmen.

Es ist eine wesentliche Bedingung, daß die äußere Belegung beim Laden nicht isolirt sein darf.

§. 13. Die hiebei zunächst zu beobachtenden Erscheinungen sind folgende:

1. Wenn man während des Ladens ein Henleysches Elektrometer auf den Conductor setzt, so steigt dasselbe nie so hoch, als wenn man den Conductor allein elektrisirt, obgleich die Flasche eine ungemein große Menge von Elektricität aufnimmt.
2. Setzt man die Flasche auf den Tisch, wodurch die äußere Belegung eine Ableitung behält, so zeigt sie sich, wie zu erwarten, ganz unelektrisch, und man kann sie daher unbedenklich fassen.
3. Auch dem Knopf oder der innern Belegung kann man sich unbedenklich mit dem Knöchel nähern, wenn man nur nicht zugleich die äußere Belegung anfaßt. Doch erhält man aus dem Knopfe kleine stechende Funken, und die innere Belegung entladet sich nicht wie ein Conductor durch einen einzigen Funken. Die Entladung geschieht auf diese Art nur langsam und selbst dann, wenn kein Funke mehr erscheint, und man den Knopf ungestraft anfassen kann, enthält sie dennoch so viel Elektricität, daß man sie durch einen Überträger in ein Elektrometer bringen, und die Art dieser Elektricität untersuchen kann. Man findet sie allezeit gleichartig mit der, welche man der innern Belegung mitgetheilt hat.
4. Die auffallendste Erscheinung aber ist, daß, wenn man die äußere und innere Belegung in leitende Verbindung setzt, sich die Elektricität der Flasche augenblicklich, mit einem starken Funken, und einem kleinen Knall entladet. Der Beobachter kann diese Entladung durch seinen eigenen Körper bewirken, wenn er mit der einen Hand die äußere Belegung der Flasche umfaßt, einen Knöchel der andern Hand aber dem Knopfe nähert. Er bekommt aber bei dieser Ent-

ladung allezeit einen elektrischen Schlag, der bei starker Ladung höhst empfindlich, und selbst gefährlich werden kann. Es ist daher zweckmäßig, die Flasche bei diesem Versuch nur durch einige wenige Funken aus dem Conductor zu laden.

5. Es ist oben als eine wesentliche Bedingungen des Erfolgs erwähnt worden, daß die äußere Belegung während der Ladung nicht isolirt sein dürfe. Isolirt man sie aber, indem man z. B. die Flasche auf eine etwas große, recht trockne Glasplatte, oder auf einen Harzkuchen setzt, so ladet sie sich zwar, aber nur schwach. Die äußere Belegung zeigt aber nur freie Elektricität, und zwar gleichartige mit der innern.

§. 14. Um die Entladung auch starker Elektricitäten ohne Nachtheil zu bewirken, bedient man sich einer eigenen Geräthschaft, die man einen Auslader nennt. In ihrer aller einfachsten Einrichtung, besteht sie bloß aus einem etwas starken Drahte, den man in einen Bogen krümmt, von solcher Länge, daß, wenn man das eine Ende an einen Punkt der äußern Belegung anlegt, mit dem andern Ende der Knopf berührt werden kann. Man giebt auch dem Bogen in der Mitte einen isolirenden Handgriff, setzt auch den Bogen aus zwei Stücken zusammen, die sich am Handgriffe in einem Gewinde vereinigen, welches bei manchen Versuchen Bequemlichkeiten gewährt. Faßt man einen solchen Auslader, und setzt sein eines Ende an die äußere Belegung, und nähert das andere dem Knopfe, so entladet sich die Flasche auf die gedachte Art durch einen einzigen starken Funken, und zwar bei starker Elektricität noch ehe man den Knopf selbst berührt, ohne daß der Beobachter auch nur das geringste empfindet. Hat der Auslader einen isolirenden Handgriff, so vermeidet man nicht nur die Gefahr, sondern selbst die Besorgniß eines Schlages.

Es ist noch zu bemerken, daß eine so entladene Flasche zwar unmittelbar keine Funken mehr giebt, wenn man eine zweite Entladung versucht, oder den Knopf berührt. Läßt man sie aber eine Zeitlang stehen, so giebt sie von neuem schwache Funken, und bisweilen noch einen zwar schwachen aber doch bemerklichen Schlag, wenn man sie vermittelst der Hände entladet.

§. 15. Man kann mit der Verstärkungsflasche eine Menge belehrender und belustigender Versuche machen. In Ansehung der erstern bemerken wir nur folgendes.

1. Die Entladung erfolgt allezeit, wenn man eine leitende Verbindung zwischen der äußeren und inneren Belegung macht, wie lang auch diese Verbindung sein mag. Man kann daher einer sehr großen Anzahl von Menschen in einem Augenblick den elektrischen Schlag mittheilen, wenn sie sich nach der Reihe mit den Händen anfassen, der erste aber die äußere Belegung faßt, uud der letzte den Knopf der Flasche mit dem Knöchel des Fingers berührt.
2. Läßt man der Elektricität beim Übergang die Wahl zwischen einem bessern und schlechtern Leitern, so geht sie durch den erstern, und berührt den letztern gar nicht. Daher kommt es, daß man den Auslader dreist mit beiden Händen fassen kann, ohne daß man einen Schlag erhält. Indessen zieht doch die Elektricität zuweilen den Weg durch einen schlechten Leiter vor, wenn er sehr viel kürzer ist, als der Weg durch einen guten Leiter.
3. Die Verbindungskette kann sogar an einer oder mehreren Stellen unterbrochen sein, sind nur die Zwischenräume nicht zu groß, so erfolgt dennoch die Entladung, und zwar geschieht bei jeder solcher Stelle der Übergang vermittelst eines schlagenden Funkens.

§. 16. Diese in einer Flasche gehäufte Elektricität ist es nun, welche man die verstärkte nennt. Sie unterscheidet sich aber von der bloßen Elektricität eines Conductors, theils durch die vermehrte Wirksamkeit,

theils durch den Schlag bei der Entladung, theils endlich dadurch, daß, wenn man die geladene Flasche ruhig hinstellt, sie viel länger als ein Conductor die Elektricität an sich hält.

§. 17. Alle diese Erscheinungen erklären sich befriedigend aus der vorgetragenen Theorie des Wirkungskreises, dessen Begriff hier nur etwas zu erweitern ist. Faßt man nämlich die Bedingungen seiner Entstehung (XXXVIII. 3.) ganz allgemein auf, so kann man sich leicht überzeugen, daß er entstehen müsse, so oft eine gehäufte +E oder —E mit nicht leitender Materie in Berührung ist. Es enthalten alle die Schlüsse, wodurch wir uns a. a. O. von der Entstehung und Beschaffenheit eines Wirkungskreises in der Luft belehrt haben, nichts, was Beziehung auf den Aggregat-Zustand der nichtleitenden Materie hätte. Daher muß selbst in dem Glase der Flasche ein Wirkungskreis entstehen, so bald +E oder —E auf der inneren Belegung angehäuft wird; nur wird die Ausdehnung desselben vielleicht in demselben Verhältniß kleiner sein, in welchem das Glas dichter als Luft ist.

Hiemit verbinde man noch die a. a. O. gemachte Bemerkung, daß selbst die gehäufteste ±E, so lange ihre Bestandtheile sich binden, eigentlich nur einen unelektrischen Zustand hervorbringe.

Theilt man nun der innern Belegung eine Elektricität, z. B. +E mit, so bildet sich in der Masse des Glases sogleich ein Wirkungskreis, der bald die ±E der äußern Belegung erreicht, und die —E derselben bindet, so daß ihre +E, wenn die Flasche nicht isolirt ist, abströmen muß. Statt dieser tritt also nun ±E durch die Leitung hinzu, und wenn man fortfährt

+E in die innere Belegung einströmen zu lassen, so wird auch die der äußeren Belegung von Neuem zugeführte —E gebunden, und die +E strömt ab. Dieses dauert nun stätig fort, so lange man +E dem Innern mitgetheilt, und die Flasche kann eben deswegen eine so große Menge von Elektricität aufnehmen, weil die innere +E und die äußere —E sich gegenseitig binden oder festhalten. Doch kann die Ladung immer nur bis zu einem bestimmten Grade fortgesetzt werden. Denn so wie die innere Elektricität einen Wirkungskreis hat, so hat sie auch eine Schlagweite (§. 2.), und diese erweitert sich, je mehr die Elektricität im Innern gehäuft wird. Setzt man die Ladung zu lange fort, so erreicht sie endlich die äußere Belegung, und es erfolgt eine Selbstentladung durch das Glas hindurch, wodurch gewöhnlich die Flasche an dieser Stelle zertrümmert, und gänzlich unbrauchbar wird. Bisweilen geht indessen die Selbstentladung nicht durch das Glas, sondern aus der innern Belegung durch den unbelegten Rand zur äußern, wozu vielleicht unsichtbare Feuchtigkeit am Rande, oder leitender Staub auf demselben Veranlassung giebt.

Ist die Flasche beim Laden isolirt, so bindet zwar auch, wenn man der innern Belegung +E mittheilt, diese das in der äußern Belegung enthaltene —E. Die +E dieser Belegung kann aber nun nicht abströmen, und wirkt daher als freie Elektricität. Da aber die Menge der —E in der äußern Belegung nicht groß ist, und keine neue ±E zuströmen kann, so wird die innere +E nur schwach gebunden, und man kann daher keine starke Ladung hervorbringen.

Verwechselt man die Zeichen + E und — E, so hat man die Erklärung einer Ladung mit — E.

§. 18. Aus dieser Erklärung ersieht man den innern Unterschied der gemeinen und der verstärkten Elektricität. Bei der letzten häufen sich nämlich beide Elektricitäten zugleich, die eine auf der innern, die entgegengesetzte auf der äußern Belegung. Sie verbinden sich zwar nicht, binden sich aber doch gegenseitig so, daß keine von beiden entweicht.

Es besteht also die Elektricität einer geladenen Flasche, aus gehäufter ± E, wobei jedoch diejenige Elektricität, die der innern Fläche zugeführt wird, immer in etwas größerer Stärke vorhanden ist. Bloß dieser Überschuß wirkt als freie Elektricität, und daher kommt es, daß das Elektrometer am Conductor weniger als sonst steigt, wenn man eine Flasche ladet.

Eben so ungezwungen erklären sich alle übrigen oben (§. 9.) erwähnten Erscheinungen. Stellt man z. B. die Flasche auf einen Tisch, und nähert sich mit einem Finger bloß dem Knopfe, so erhält man zuerst nur die freie Elektricität der innern Belegung. Indem man aber diese wegnimmt, schwächt man zugleich die Bindung der äußern, und es strömt ein Theil derselben ab. Hiedurch wird aber auch die Bindung der innern geschwächt, und man erhält also wieder einen Funken. Diese gegenseitige Schwächung geht langsam, aber stätig fort, bis alle Elektricität hinweg ist. Indessen bleibt ein kleiner Überrest derselben zurück, und wahrscheinlich anfangs unten am Boden der Flasche. Läßt man sie aber stehen, so arbeitet sich dieser allmählig gleichförmig durch die Belegungen, und macht nach einiger Zeit eine neue, doch nur schwache Entladung möglich.

Die elektrische Batterie.

§. 19. Will man die Wirkung der Flasche aufs möglichste verstärkt sehen, so muß man eine elektrische Batterie machen; d. h. man muß eine Menge solcher Flaschen zusammenstellen, und einerseits alle ihre äußeren Belegungen, andrerseits aber alle ihre inneren Belegungen in leitende Verbindung setzen. Die Verbindung der äußern Belegungen kann man aufs einfachste dadurch erhalten, daß man sie sämmtlich auf eine zusammenhängende Lage von Staniol stellt; die Verbindung der inneren Belegungen durch Drähte, wodurch man die Knöpfe der Flaschen verbindet. Das übrige der äußeren Anordnung ist zufällig, und in größern Werken nachzusehen.

Die Ladung geschieht dadurch, daß man irgend etwas, was zur innern Belegung gehört, durch einen Draht oder eine Kette mit dem Conductor der Elektrisir-Maschine verbindet, und dann die Scheibe umdreht.

Wie oft man die Scheibe umdrehen müsse, um eine ziemlich vollständige Ladung zu erhalten, läßt sich im Allgemeinen gar nicht bestimmen; weil es nicht nur nach der Größe und Güte der Maschine, sondern auch nach Beschaffenheit der Witterung sehr verschieden ist.

Da die Wirkungen einer geladenen Batterie von einer Vorsicht gebietenden Stärke sind, so ist es ein lästiger Umstand, daß man kein recht sicheres Kennzeichen hat, um zu beurtheilen, wie weit die Ladung vorgerückt sei. Um desto sorgfältiger muß man daher wenigstens auf die mangelhaften Kennzeichen, die sich angeben lassen, Achtung geben. In dieser Rücksicht ist folgendes zu beobachten: 1) bei jedem Versuche muß man zählen, wie oft die Scheibe umgedreht wird, um

aus dem Erfolge des ersten Versuchs eine Regel für die folgenden zu ziehen: 2) man muß nie versäumen das Quadrantelektrometer auf den Conductor zu stellen, und es zu beobachten; es steigt zwar bei der Ladung einer Batterie weit langsamer, als bei der Elektrisirung des bloßen Conducturs, oder bei der Ladung einer einzelnen Flasche; aber man kann doch aus seinem Stande bei dem ersten Versuche wieder eine Regel für die folgenden ziehen, und selbst bei dem ersten Versuche das Fortrükken der Ladung einigermaaßen wahrnehmen; 3) man liege vor den Versuchen über die Drähte, welche die innere Belegung der Flaschen verbinden, ein Metallstäbchen, das an beiden Seiten mit einem runden Knopf von etwa $\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser versehen ist, und ein Paar Zoll über die Batterie hervorragt. Man nähere von Zeit zu Zeit den Knopf eines isolirten Ausladers einer dieser Kugeln; in einer gewissen Entfernung wird ein knisterndes Fünkchen gegen den Auslader herausprühen; und man kann aus der Entfernung ungefähr auf die Stärke der Ladung schließen. Bei einer Batterie von 20 bis 30 Berliner Quartflaschen, zeigt $\frac{1}{2}$ Zoll Entfernung schon eine starke Ladung an. 4) Man sei aufmerksam auf die ganze Batterie, und wenn man irgendwo ein Knistern zwischen den Gläsern hört, so säume man nicht die Batterie zu entladen, weil es entweder ein Zeichen von einer schadhaften Flasche, oder von einer nahen Selbstentladung ist.

Die Selbstentladung muß man zu vermeiden suchen, weil man dabei oft eine Flasche verliert. Die künstliche Entladung geschieht wie bei der einzelnen Flasche dadurch, daß man die äußere und innere Belegung auf irgend eine Art in leitende Verbindung bringt.

§. 20. Die Wirkung einer Batterie wächst zwar mit der Anzahl der Flaschen, aber so weit sich die Stärke der Wirkung messen läßt, nicht in gleichem Verhältniß. Es ist übrigens genauer, die Größe einer Batterie nach der Größe der äußern oder innern Belegung, als nach der Anzahl der Flaschen anzugeben. Haben die Flaschen die Größe der gewöhnlichen Berliner Quartgläser, so kann man ungefähr auf jede Flasche 1 Quadratfuß äußere, oder innere Belegung rechnen; will man es etwas genauer haben, so kann man auf 9 oder 10 Flaschen einen Quadratfuß abrechnen.

§. 21. Eine fast unentbehrliche Zubehör zu einer Batterie, ist der Henly'sche allgemeine Ausladers. Auf einem Fußbrettchen, das etwa 12 Zoll lang, und 6 bis 8 Zoll breit ist, stehen nicht weit von den beiden schmalen Enden zwei isolirende Säulen von 8 bis 10 Zoll Höhe. Jede trägt einen queer über ihr liegenden Draht, der auf der äußeren Seite in einen Ring umgebogen ist, auf der innern Seite aber sich in einer Kugel, oder wenn man diese abschraubt, in einer Spitze endigt. Diese Drähte sind auf ihren Säulen vermittelst einer Vorrichtung von Messing so befestigt, daß jeder dreierlei Bewegungen machen kann; er kann in einer Hülse hin und her geschoben, er kann horizontal, er kann vertikal gedreht werden. Zwischen beiden Säulen steht eine Art Tischchen von gedörrtem Holz, das man hoch und niedrig stellen, auch ganz wegnehmen kann. Über dem Tischchen liegt noch eine Platte von gleicher Größe, die sich durch zwei Schrauben nach Art einer Presse an die Tischplatte anschrauben läßt.

Bei dem Gebrauch befestigt man das eine Ende einer Drahtkette an den Ring des einen Drahts, und

das andere Ende an die äußere Belegung der Batterie. Den Körper, den man der Wirkung des Schlages aussetzen will, legt man auf das Tischchen, oder preßt ihn zwischen die beiden Platten, worauf man den Knöpfen beider Drähte die schicklichste Lage und Entfernung gegen ihn giebt. Hierauf hängt man den Ring eines gemeinen Ausladers (§. 10.) an den Ring des zweiten Drahts, und berührt mit dem Knopfe des gemeinen Ausladers die innere Belegung der Batterie. Der elektrische Funke ist nun, wie man leicht sieht, gezwungen, durch den Körper zu gehen, der zwischen den beiden Knöpfen des Ausladers liegt.

§. 22. Von den unzähligen Versuchen, die sich mit einer Batterie anstellen lassen, müssen wir uns begnügen einige wenige anzuführen.

1. Vögel und andere kleine Thiere werden durch den Schlag einer Batterie augenblicklich getödtet. Mit größern Thieren würde der Versuch große Vorsicht erfodern. Raupen scheinen eine Ausnahme zu machen, und nicht nur mehrere Schläge einer Batterie, sondern selbst den Schlag eines Blitzes auszuhalten, indem man sie öfters an Bäumen, die der Blitz traf, munter findet.
2. Der Funke einer Batterie dringt durch dünne Glasscheiben mit verstärktem Schall, aber ohne sie zu zerbrechen.
3. Er schlägt ein Loch, durch vielfache Pappe, durch ein Spiel Karten, durch Blätter von Staniol oder Blei ꝛc. Bemerkenswerth ist der kleine Umstand, daß dergleichen Löcher immer auf beiden Seiten einen aufgeworfenen Rand haben.
4. Feine Metallfäden macht der elektrische Funke glühend, schmelzt und oxydirt, oder verbrennt sie. Am leichtesten ist mit kleinen Batterien dieser schöne Versuch zu machen, wenn man ein kurzes Ende von den feinsten stählernen Clavierfaiten (Nr. 10 oder 11) anwendet.
5. Ächtes Blattgold oder Blattsilber zwischen Glasstreifen gepreßt wird durch den elektrischen Funken in das Glas ein-

eingeschmolzen; unächtes verliert dabei an manchen Stellen durch eine anfangende Oxydation seine Farbe.

6. Wenn man die beiden Knöpfe des Henly'schen Ausladers nahe über die Oberfläche von Wasser bringt, so können sie weiter als in der Luft auseinanderstehen, und es erfolgt dennoch die Ausladung mit sehr verstärktem Schall. Hält man während der Entladung einen Finger in das Wasser, so fühlt man einige Erschütterung. Ohne Zweifel befördert der leitende Wasserdunst, der über dem Wasser liegt, die Entladung.

7. Bringt man die Knöpfe des Ausladers in einer geringen Entfernung von einander unter Wasser, so zeigt sich der Funke im Wasser zwischen den Knöpfen, wobei das Wasser in merkliche Bewegung kommt.

Anm. zu Nr. 4. Bei diesem Versuche glühet und schmilzt nicht bloß der Eisendraht, sondern er **verbrennt** im eigentlichsten Sinne des Wortes. Denn fängt man die glühenden Kügelchen, in welche er sich zerstreuet, auf, so läßt sich deutlich zeigen, daß sie nicht aus Eisen, sondern aus schwarzem Eisenoxyd bestehen. Eisen hat bekanntlich eine starke Verwandschaft zum Oxygen. Daß aber dennoch bei mäßiger Hitze kein Verbrennen, sondern nur eine langsam fortschreitende Oxydation auf der Oberfläche statt findet, hat unstreitig keinen andern Grund, als daß die ungemein große Cohäsionskraft desselben bei niedrigen Temperaturen nur den äußersten Theilchen der Oberfläche gestattet, sich langsam und schwach zu oxydiren. Es muß daher erst durch die Glühhitze die Cohäsion sehr geschwächt sein, ehe eine rasche Oxydation, d. i. ein wirkliches Verbrennen erfolgen kann. Ist dieses richtig, so würde das Verbrennen auch bei niedrigerer Temperatur anfangen können, wenn nur die Cohäsion durch eine andere Kraft als Wärme hinlänglich geschwächt wäre. Vielleicht bringt der elektrische Funke eine solche Schwächung der Cohäsion hervor. Dann würde die sich zeigende Glühhitze nicht die Ursache, sondern Folge der Oxydation, also nur **mittelbar** eine Wirkung der Elektricität sein.

Neununddreißigstes Capitel.

Der Elektrophor, der Condensator und die elektrische Wage.

§. 1. Alexander Volta zu Pavia, der größte Kenner der Elektricität in unserem Zeitalter, hat den elektrischen Apparat mit mehreren sehr merkwürdigen Geräthschaften bereichert, wozu die beiden ersten in der Überschrift genannten gehören. Seine Erfindungen haben alle das Charakteristische, daß keine einzige dem Zufall, sondern alle der Theorie und dem Genie ihr Dasein verdanken. Die elektrische Wage ist eine Erfindung Coulomb's.

Der Elektrophor.

§. 2. Man stelle sich eine runde Scheibe von Blech, ringsherum mit einem niedrigen aufwärtsstehenden Rande vor. Ihre Größe kann sehr verschieden sein; bei kleinen Elektrophoren beträgt der Durchmesser wenige Zolle, bei größeren selten über zwei Fuß. Der Rand muß immer sehr niedrig sein; bei den kleinsten etwa ein Viertelzoll, bei den größten nicht über einen Zoll. Diese Scheibe oder Schaale heißt die Form des Elektrophors.

Sie wird mit Harz, Pech, Siegellack, Schwefel oder irgend einer andern harzigen Mischung ausgefüllt. Man muß aber Sorge tragen, daß die Masse durchaus keine Risse bekomme, und ihre Oberfläche recht eben sei. Diese Masse heißt der Kuchen des Elektrophors.

Der dritte und letzte wesentliche Theil des Instruments heißt der Deckel. Er besteht aus einer Scheibe,

deren Durchmesser um den achten oder zehnten Theil kleiner ist, als der Durchmesser der Form. Er muß aus einer leitenden Materie verfertigt sein, und nirgends Spitzen oder scharfe Kanten haben, auch recht eben sein. Wird er aus Blech gemacht, so muß der Rand rund umgebogen sein; aber es ist schwer ihn dann recht eben zu erhalten. Es ist daher besser ihn aus mehrfach übereinander geleimten Pappen zu machen, und ihn mit Staniol zu überziehen. Er wird nach Art einer Wagschale an drei recht reinen seidenen Schnüren aufgehängt, oder man kann ihm auch in der Mitte einen gläsernen Handgriff geben. Kurz er muß isolirt aufgehoben werden können.

§. 3. Die Electricität in dieser Geräthschaft wird dadurch erregt, daß man den Kuchen mit einem recht trocknen Fuchsschwanze peischt, wodurch er Harzelektricität erhält. Die auszeichnenden Eigenschaften des Elektrophors zeigen sich in folgenden Erscheinungen:

1. Setzt man den Deckel auf den elektrischen Kuchen, ohne ihn zu berühren, so erhält sich die Elektricität in ihm viele Tage, ja Wochen lang. Daher der Name Elektrophor, d. i. Elektricitätsträger.

2. Setzt man den Deckel auf den Kuchen, und berührt ihn mit dem Finger, so erhält man einen kleinen Funken. Er ist also elektrisch, und wenn man etwas von dieser Elektricität vermittelst eines Überträgers an ein Elektrometer bringt, so findet man sie jederzeit gleichartig mit der Elektricität des Kuchens, nämlich — E.

3. Setzt man den Deckel auf den Kuchen, und hebt ihn, ohne ihn berührt zu haben, an den Schnüren auf, so zeigt er gar keine, oder eine sehr schwache Elektricität.

4. Setzt man ihn endlich auf den Kuchen, und zieht mit dem Finger einen Funken heraus, so zeigt er, wenn man ihn aufhebt, eine mit der Entfernung vom Kuchen zunehmende Elektricität, die so beträchtlich ist, daß, bei Annäherung eines Leiters, ein Funke herausspräht, dessen Stärke von der Größe des Kuchens, und von der mehr oder minder vollständigen Elektrisirung desselben abhängt. Untersucht man die Art dieser Elektricität, so findet man sie jederzeit der des Kuchens entgegengesetzt, also + E.

5. Man kann das abwechselnde Funkenziehen aus dem Deckel, wenn er auf dem Kuchen steht, und wenn er aufgehoben ist, so oft man will wiederholen, ohne daß der Kuchen an seiner Elektricität das geringste verliert.

§. 4. Nach dem, was im vorigen Capitel über die elektrischen Wirkungskreise gesagt worden, ist in diesen Erscheinungen wenig, was einer besondern Erklärung bedürfte. Nur daß keine wirkliche Mittheilung, sondern eine bloße Vertheilung (XXXVIII. 3.) erfolgt, wenn man den Deckel auf den Kuchen setzt, und so berührt, ist eine neue Erscheinung. Wir haben indessen schon oben (XXXVI. 13.) gesehen, daß die Gestalt der Körper großen Einfluß auf die Mittheilung der Elektricität hat, und daß die Mittheilung desto mehr Schwierigkeit findet, je weniger Spitzen und scharfe Kanten sich an dem Körper finden. Wir lernen also aus dem Elektrophor ein neues Gesetz der Mittheilung; dieses nämlich:

daß zwischen zwei breiten Flächen, von denen die eine nicht leitend, die andere aber leitend ist, keine merkliche Mittheilung statt findet.

Alles übrige muß für den verständlich sein, der die Gesetze des elektrischen Wirkungskreises begriffen hat.

Anm. Es ist leicht einzusehen, daß in dem Deckel, so lange er auf dem Kuchen steht, die beiden Elektricitäten nicht örtlich, sondern nur dynamisch getrennt sind; d. h. + E ist gebunden, — E frei, obgleich beide so gut als gleichförmig durch den Deckel verbreitet sind. (Man vergleiche die Anm. zu XXXVIII. 5.) Die — E kann daher abgeleitet werden, man mag die Ableitung auf der oberen oder unteren Seite des Deckels anbringen. Das letzte kann z. B. bewerkstelligt werden, wenn man ein Stück Staniol so auf den Kuchen legt, daß das eine Ende die Form berührt, das andere aber bis unter den Deckel reicht. Dann ist es nicht nöthig den Deckel vor dem Aufheben zu berühren.

§. 5. Der Elektrophor kann in den meisten Fällen die Stelle einer Elektrisirmaschine vertreten. Denn ist er einmal elektrisirt, so ist er gleichsam eine unerschöpfliche Quelle von Elektricität. Besonders kann man Flaschen mit beiden Elektricitäten laden. Man stelle zwei Flaschen neben den Elektrophor, und verbinde die äußere Belegung der einen mit der Form. Mit dieser Flasche ziehe man den Funken aus dem Deckel, wenn er auf dem Kuchen steht, mit der andern, wenn er aufgehoben ist, so wird jene mit — E diese mit + E geladen. Starke Ladungen erhält man indessen auf diese Art nicht, oder der Elektrophor müßte sehr groß sein; aber ein solcher ist, wegen der Größe und Schwere des Deckels unbequem zu handhaben.

§. 6. Wir müssen noch ein leichtes Mittel erwähnen, die Elektricität des Kuchens zu verstärken. Man lade eine Flasche (durch den Elektrophor oder durch die Maschine) mit + E, setze sie auf den Kuchen, fasse den Knopf, und führe so den belegten Boden der Fla-

sche auf dem Elektrophor herum, so geht allmählig alle + E der Flasche durch die Hand fort, alle — E aber, welche sie gebunden enthielt, wird allmählig von dem Kuchen angenommen, welcher sich durch dieselbe verstärkt. Doch ist diese Verstärkung nicht von langer Dauer.

§. 7. Zu den eigenthümlichen Versuchen, die sich mit dem Elektrophor machen lassen, gehören noch die Lichtenbergischen Figuren. Man lade zwei Flaschen, eine mit + E, die andere mit — E; man fasse jede bei der äußeren Belegung, und zeichne mit dem Knopfe auf den Kuchen beliebige Züge, nachdem man vorher demselben durch ein aufgelegtes und aufgedrücktes leinenes Tuch alle Elektricität entzogen hat. Dann bepudere man den Kuchen mit feinem Staube, z. B. von Schwefel, Harz, Mennige, Hexenmehl u. dgl., so werden die gemachten Züge sichtbar, wobei sich + E und — E in den entstehenden Figuren auffallend unterscheiden.

§. 8. Von andern mit dem Elektrophor zu machenden Versuchen sehe man die phys. Wörterbücher und andere größere Werke nach. Eine artige Anwendung derselben hat man in neueren Zeiten bei dem elektrischen Feuerzeuge gemacht, dessen frühere unvollkommnere Einrichtung man in den phys. Wörterbüchern unter dem Artikel Lampe, elektrische beschrieben findet. Von der neuern Einrichtung ist mir keine gedruckte Beschreibung bekannt. Das Wesentliche besteht darin, daß unter der Maschine ein Kasten mit einem Elektrophor angebracht ist, und daß zur Anzündung des Lichts nichts als die Umdrehung eines einzigen Hahnes nöthig ist. Sie werden in Berlin häufig und

gut verfertigt; auch hat man allerlei Abänderungen in der Einrichtung erdacht.

Der Condensator.

§. 9. Man hat in neueren Zeiten angefangen, sehr lehrreiche Untersuchungen über schwache Grade von Elektricität, die sich bei mannigfaltigen Gelegenheiten in der Natur zeigen, anzustellen. Der Naturforscher, welcher die Wissenschaft erweitern will, muß daher mit den hiezu dienlichen Geräthschaften bekannt sein. Dazu gehört, außer sehr empfindlichen Elektrometern, Volta's Condensator, wodurch die Wirkungen einer noch so schwachen Elektricität bemerklich gemacht werden können.

Schon Äpinus in seiner Theoria Electricitatis et Magnetismi (Petrop. 1759.) führt Versuche an, die im Wesentlichen denen ganz gleich sind, die man mit dem Condensator anstellt. Indessen gebührt Volta'n das unstreitige Verdienst, daß er zuerst die Idee einer eigenthümlichen Geräthschaft erdacht, dieselbe bestimmt benannt, auch den Zweck und die Art ihres Gebrauches genau bestimmt hat.

§. 10. Die Construction des Condensators kann auf mancherlei Art abgeändert werden, ist aber in jedem Falle höhst einfach. Der wesentlichen Theile sind zwei, der Deckel oder die Sammelplatte, und die Unterlage oder Basis. Der Deckel ist im Wesentlichen so eingerichtet wie bei einem Elektrophor (§. 2.); nur ist er gewöhnlich viel kleiner, von etwa 2 bis 3 Zoll Durchmesser; daher ist es zweckmäßig ihn aus Metall zu machen, und die untere Fläche abschleifen und poliren zu lassen. Auch kann dieselbe mit einer dünnen Lage Firniß überzogen sein. Die Unterlage

muß eine Scheibe sein, die entweder aus einer schlechtleitenden Materie, oder aus einer gutleitenden Materie, mit einem dünnen nichtleitenden Überzuge besteht. Am bequemsten ist eine abgeschliffene Metallplatte, die mit einer dünnen Lage von Firniß überzogen ist. Eine recht trockne und erwärmte Marmorplatte, eine Scheibe von trocknem Holz, die man auch mit einer dünnen Firnißlage überziehen kann u. dgl. sind auch brauchbar. Ja, da die Luft selbst ein nichtleitender oder schlechtleitender Körper ist, so darf man nur drei kleine Stückchen Glas auf einen Tisch legen, und den Deckel darauf setzen, so vertritt der Tisch und die Luftschicht zwischen ihm und dem Deckel die Stelle der Unterlage.

§. 11. Bei dem Elektrophor wurde der Kuchen elektrisirt; bei dem Condensator theilt man unmittelbar dem Deckel, während er auf seiner Basis steht, die schwache Elektricität mit, welche untersucht werden soll. So lange er auf der Basis steht, zeigt er keine Elektricität, hebt man ihn aber auf, so wirkt er merklich auf das Elektrometer und giebt wohl gar Funken. Man kann den Versuch z. B. mit dem kleinen Überreste von Elektricität machen, den eine Flasche auch nach der vollständigen Entladung behält.

§. 12. Die Theorie des Condensators hat nach allem bisher Vorgetragenen wenig Schwierigkeit. Zwischen dem Deckel und der Basis findet keine Mittheilung statt (§. 4.), wofern man nicht etwa dem Deckel eine zu starke Elektricität mitgetheilt hat. Daher bildet die dem Deckel mitgetheilte Elektricität einen Wirkungskreis. Giebt man dem Deckel $+E$, so bindet diese die in der natürlichen $\pm E$ enthaltene $-E$ der Basis

in einem gewissen Grade, wird aber dadurch selbst in gleichem Grade gebunden. Hiedurch erhält aber der Deckel gerade so wie eine Flasche, die man ladet, die Empfänglichkeit (Capacität), mehr Elektricität anzunehmen. Sie saugt also, so zu sagen, alle Elektricität aus dem Körper aus, den man ihr darbietet. Alle diese Elektricität aber ist, so lange der Deckel auf der Basis steht, ganz oder größtentheils gebunden. Hebt man ihn aber auf, daß die Basis aus dem Wirkungskreise des Deckels kommt, so wird alle seine Elektricität frei, und äußert sich auf die gewöhnliche Art.

Man sieht leicht, wie diese sinnreiche Zusammensetzung zur Untersuchung schwacher Grade von Elektricität benutzt werden könne. Man vergleiche den Artikel Condensator in den phys. Wörterbüchern.

Warum muß die Basis des Condensators, aus einer schlechtleitenden Materie bestehen, da doch, nach XXXVIII. 3. zur Entstehung eines Wirkungskreises erfodert wird, daß eine gehäufte thätige Electricität, mit einer, wo möglich, völlig nicht leitenden Materie in Berührung sei? Der Grund ist, weil das Instrument nur für schwache Elektricitäten gebraucht werden soll. Schwache Elektricität theilt sich aber selbst einem guten Leiter nur langsam und schwierig mit, die Mittheilung wird aber hier auch noch durch die breiten Flächen erschwert, welche sich berühren (§. 4.). Daher ist hier die Entstehung eines Wirkungskreises allerdings hinlänglich bedingt, wenn gleich die Basis einige leitende Kraft besitzt. Diese befördert sogar die beabsichtigte Wirkung dadurch, daß sie derjenigen Elektricität, welche in der Basis frei wird, zu entweichen verstattet, wodurch die im Deckel und in der Basis enthaltenen entgegengesetzten Elektricitäten sich noch fester binden. Da man indessen bei dieser Construction doch nie wegen einer Mittheilung ganz sicher ist, wodurch nach XXXVIII. 4. die Erscheinungen des Wirkungskreises gestört werden, so möchte wohl darin der Hauptgrund von der Schwierig-

keit der Versuche mit dem Condensator liegen, über welchen alle Beobachter klagen. Hiezu kommt noch, daß auch mancherlei Zufälligkeiten störend auf die Versuche einwirken können. Indessen beweisen doch viele lehrreiche Beobachtungen, daß der Condensator in der Hand eines geübten und sehr aufmerksamen Beobachters ein wichtiges Werkzeug ist.

Große Condensatoren sind sehr entbehrlich, weil die Elektrometer für stärkere Elektricitäten alles erfoderlicher bequemer und sicherer leisten.

§. 13. Volta hat noch gezeigt, wie ein kleiner Condensator unmittelbar mit dem Elektrometer verbunden werden kann. Zu dem Ende besteht es aus zwei Metallplatten von gleichem Durchmesser, von dem die eine so eingerichtet ist, daß sie auf den Knopf eines Elektrometers aufgeschraubt werden kann. Die andere wird auf diese gesetzt, und hat an ihrer oberen Seite einen isolirenden Handgriff. Die beiden inneren sich berührenden Seiten müssen recht eben, und mit einem dünnen Firniß von Gummilack überzogen sein.

Da auf diese Art beide Scheiben isolirt sind, so kann man beliebig, welche man will zur Basis machen, indem man ihr eine Ableitung giebt, während man der andern die zu untersuchende Elektricität mitzutheilen sucht. Nur ist der Erfolg in beiden Fällen entgegengesetzt. Macht man die obere Scheibe zur Basis, so divergiren, nach Abhebung derselben, die Pendel durch dieselbe Elektricität, die man der unteren mitgetheilt hat. Macht man die untere zur Basis, so divergiren sie durch die entgegengesetzte.

1. Giebt man der oberen Platte eine Ableitung, und berührt die untere mit einem Körper der + E enthält, so wird die — E der obern gebunden, und die + E derselben entweicht. Nimmt man nun die Ableitung der obern und die Mittei-

lung an die untere Platte weg, und hebt die obere auf, so wird die der unteren mitgetheilte + E frei, und treibt die Pendel auseinander.

2. Giebt man dagegen der unteren Platte eine Ableitung, und theilt der oberen + E mit, so bindet diese die — E der untern, und die + E entweicht. Wird nun die obere abgehoben, so wird die — E der untern frei, und treibt die Pendel auseinander.

Auch dieser Gebrauch des Condensators fodert geübte Hände, geprüfte Instrumente, und große Aufmerksamkeit.

Coulomb's elektrische Wage.

§. 14. Ein vor wenigen Jahren verstorbener französischer Naturforscher Coulomb, dem die Naturlehre mehrere sehr feine Untersuchungen verdankt, hat ein Werkzeug unter dem Namen einer elektrischen Wage erfunden, dessen nähster Zweck ist, die Gesetze ausfindig zu machen, nach welchen die elektrische Anziehung und Abstoßung mit der Entfernung abnimmt. Da die Kenntniß der Naturgesetze das wichtigste ist, wonach der Physiker streben muß, so ist dieses sinnreiche Instrument für die Theorie der Elektricität von großer Wichtigkeit. Eben diese Geräthschaft kann aber auch als ein höhst empfindliches Elektrometer angewendet werden.

§. 15. Wenn man einen etwas langen und zarten Faden (etwa einen sehr feinen Silber-Faden, oder einen einfachen Seiden-Faden) am obern Ende befestigt, am untern aber einen dünnen und leichten Zeiger oder Hebel in seinem Schwerpunkte daran so befestigt, daß er wagerecht schwebt, so ist klar, daß dieser Hebel durch die allerschwächste Kraft in horizontaler Richtung um seinen Schwerpunkt gedreht werden kann. Hat man ihn nun um einen gewissen Winkel aus seiner er-

sten Lage gebracht, und man läßt ihn wieder frei, so kehrt er nach einigen pendelartigen Schwingungen in seine erste Lage zurück, und zwar genau, wenn man beim Drehen nicht aus den Gränzen der vollkommnen Elasticität herausgekommen ist. (M. vergl. VIII. 6. u. folg.) Diese Gränzen sind aber hier ziemlich groß, wenn der Faden etwas lang ist, und man kann den Hebel wohl um 360° (wohl gar zwei- bis dreimal) drehen, ohne aus ihnen zu kommen.

Coulomb hat eine Menge feiner und sorgfältiger Untersuchungen angestellt, um das Verhältniß auszumitteln, in welchem eine angewendete Kraft mit dem Winkel steht, um welchen sie den Hebel dreht, und er hat gezeigt:

daß diese Kraft in gleichem Verhältniß mit dem Winkel stehe, um welchen der Hebel gedreht wird.

An den Winkeln, die der Hebel beschreibt, hat man also ein Maaß der Kräfte, die man auf den Hebel wirken läßt. Der Erfinder hat diesen Mechanismus, den man allgemein Drehwage (Balance de torsion) nennen kann, zu mehreren äußerst feinen Untersuchungen über die elektrische und magnetische Kraft benutzt.

§. 16. Für die elektrischen Untersuchungen bekommt die Wage folgende Entrichtung:

Unten befindet sich ein cylindrisches, nur wenige Zolle hohes, aber sechs bis acht Zoll weites Gefäß, welches durch ABCD Fig. 77. in einem senkrechten Durchschnitt vorgestellt ist. An seiner äußern cylindrischen Fläche ist ungefähr in der Mitte der Höhe ein (in der Figur nicht vorgestellter) Kreis gezeichnet und in 360° getheilt. Oben ist das Gefäß mit einer aufgekitteten

Glasplatte AB geschlossen, und in der Mitte ist ein rundes 1 bis 1½ Zoll weites kreisförmiges Loch EF geschnitten. In dieses ist eine 16 bis 18 Zoll hohe Glasröhre eingekittet, welche oben bei GH mit einer kreisförmigen Platte geschlossen ist, die sich in der Röhre sanft (doch nicht allzuleicht) herumdrehen läßt. Der Rand dieser Scheibe ist rings herum wieder in 360° getheilt. Diese Platte kann aus Messing (allenfalls auch aus Holz) bestehen. In der Mitte bei I ist sie mit einem kleinen Loche durchbohrt, in welchem sich eine kurze, oben und unten hervorragende Achse IK drehen läßt, ohne die Scheibe mit zu drehen. An dieser Achse ist oben ein Zeiger IL, unten aber bei K ein sehr feiner Silberdraht KM befestigt, der bis ungefähr in die Mitte des unteren Gefäßes herabreicht. Hier ist nun in wagrechter Stellung ein Hebel NO befestigt, der am besten aus einer bloßen feinen Nadel von Schell-Lack (Gummi-Lack) besteht. Wird hiedurch der Silberdraht noch nicht recht gerade gespannt, so kann man bei M noch ein kleines Gewicht von Blei anhängen. Diese Nadel muß sich eigentlich in gleicher Höhe mit dem oben erwähnten, am äußern Umfange des Gefäßes gezeichneten Kreise befinden, welcher den Zweck hat, die Stellung der Nadel zu beobachten. An dem einen Ende dieser Nadel, in unserer Figur bei N, ist ein kleiner Kreis von Goldpapier in lothrechter Lage so angeklebt, daß der metallische Überzug desselben abwärts von der Nadel gekehrt ist. Nun nehme man an, daß diese Spitze N der Nadel gerade auf den Nullpunkt des äußern Kreises zeige, welches jederzeit durch Umdrehung des Deckels GH bewirkt werden kann, so befindet sich in der Deckelplatte AB gerade über N eine kleine kreisförmige 0,2 bis 0,4 Zoll weite

Öffnung P, welche bestimmt ist, um durch dieselbe dem kleinen Kreise von Goldpapier eine schwache Elektricität mitzutheilen. Zu dem Ende befestigt man eine kleine messingene Kugel, an einen Faden von Gummi-Lack, und bringt die Kugel so in das Innere, daß sie im unelektrischen Zustande gerade nur den Metall-Überzug des kleinen Kreises berührt. In dieser Stellung muß sie in dem Loch P einigermaßen befestigt sein, doch so, daß man sie leicht herausnehmen, und wieder in derselben Stellung hinein bringen kann. Die Vorrichtung dazu kann sich jeder leicht nach Belieben ausdenken.

Was die Zählung der Grade an den beiden eingetheilten Kreisen betrifft, so muß man sie am untern Kreise nach der Seite zählen, wohin die Spitze der Nadel N durch elektrische Abstoßung getrieben wird, am obern Kreise aber in entgegengesetzter Richtung.

§. 17. Was nun den Gebrauch dieses artigen Werkzeuges betrifft, so begnügen wir uns, zu zeigen, auf welche Art dasselbe gebraucht werden kann, um das Gesetz für die elektrische Abstoßungskraft zu bestimmen.

Zuerst muß man den Zeiger der oberen Scheibe auf ihren Nullpunkt bringen; dann läßt sich durch Drehung der ganzen Scheibe auch der Hebel NO auf den Nullpunkt des unteren Kreises stellen. Hierauf nimmt man die in dem Loche P befindliche Kugel heraus, theilt ihr eine schwache Elektricität mit, und bringt sie wieder möglichst genau in ihrer vorigen Lage in das Loch. Sobald sie das Goldblättchen der Nadel berührt, wird dieses in gleichem Grade elektrisch, und daher von der Kugel abgestoßen. Wir nehmen an, daß hiedurch die Nadel um 18° vom Nullpunkt abgetrieben werde. Steht

sie hier still, so steht die elektrische Abstoßung mit 18° Drehungskraft im Gleichgewicht. Wird daher die geringste entgegengesetzte Drehungskraft angebracht, so muß sie sich wieder der Kugel nähern. Man drehe also den Silberfaden vermittelst des oberen Zeigers (aber nicht den Deckel GH) nach der entgegengesetzten Seite langsam fort, bis die Nadel genau die Hälfte ihres vorigen Weges, also 9° zurückgelegt hat, und nun zähle man, um wieviel Grade der Zeiger gedreht worden ist. Wir nehmen an 63°, so wird die Nadel jetzt, da sie noch 9° vom Nullpunkt absteht, durch eine Drehungskraft von $63° + 9° = 72°$ im Gleichgewicht erhalten. Bei einer Entfernung von 9° ist also die Abstoßungskraft 72; bei einer Entfernung von 18° aber 18. Beide Kräfte verhalten sich wie $72 : 18 = 4 : 1$; die zugehörigen Entfernungen aber wie $9 : 18 = 1 : 2$. Jene Zahlen verhalten sich also verkehrt wie die Quadratzahlen von diesen.

Durch Versuche dieser Art scheint es entschieden zu sein, daß die abstoßenden und anziehenden Kräfte der Elektricität, wie die allgemeine Schwere, in umgekehrtem Verhältniß mit den Quadraten der Entfernung stehen. Dieses sehr merkwürdige Gesetz, bezieht sich aber, wie schon erinnert worden, nur auf physische Punkte, die einander elektrisch abstoßen oder anziehen. Auf größere Massen ist es unmittelbar nur dann anwendbar, wenn sie solche Größe und Lage haben, daß alle Linien die man zwischen ihnen ziehen kann, wenig vom Parallelismus abweichen.

Anm. 1) Man sieht leicht ein, daß genaue Winkelmessungen bei diesen Versuchen nicht möglich sind. Man muß

daher durch Vervielfältigung der Versuche ersetzen, was dem einzelnen an Genauigkeit abgeht. 2) Wenn man stärkere Elektricitäten anwendet, so daß die Nadel um große Winkel aus ihrer Lage gebracht wird, so kann man nicht die Bogen selbst, sondern man muß die Sehnen als Maaß der Entfernung betrachten. Bei genaueren Versuchen sind also diese zu berechnen, welches für jeden, der nur etwas geübt in der Mathematik ist, keine Schwierigkeit hat. 3) Man sieht leicht, daß von dem Instrument ein mannigfaltiger Gebrauch gemacht, und daß es besonders als ein ungemein empfindliches Elektrometer gebraucht werden könne. 4) Bei diesen Versuchen muß man eigentlich sowohl die Kugel als den kleinen Kreis von Goldpapier, als physische Punkte betrachten. Denn es ist klar, daß man nicht erwarten dürfe, bei großen elektrischen Flächen eben das Gesetz des Anziehens und Abstoßens, besonders in der Nähe zu finden, indem alsdann die Stärke der elektrischen Kraft nicht von einer einzigen Entfernung, sondern von der Entfernung aller Punkte des elektrischen Körpers von allen Punkten des angezogenen oder abgestoßenen abhängig ist, welche Bestimmung in vielen Fällen sehr schwierig und verwickelt werden kann.

§. 18. Coulomb hat durch eine große Menge von Versuchen mit diesem Instrumente dargethan,

daß sowohl die elektrische Anziehung als Abstoßung im verkehrten Verhältniß mit den Quadraten der Entfernung abnehme,

ein Verhältniß, das sich nicht nur bei der Gravitation findet, sondern überall zu herrschen scheint, wo sich die Wirkungen einer Kraft nach allen Seiten gleichförmig ausbreiten.

Durch dieses Gesetz ist wenigstens die Grundlage zu einer mathematischen Theorie der Elektricität gelegt, für deren Vollendung indessen noch viele Schwierigkeiten zu überwinden sind.

Vierzigstes Capitel.

Von der Erregung der Elektricität durch andere Mittel als das Reiben, besonders von dem sogenannten Galvanismus.

§. 1. Den Gedanken, daß das Gewitter eine elektrische Erscheinung sei, faßten mehrere Naturforscher, namentlich Rollet, Winkler und Franklin in der Mitte des vorigen Jahrhunderts zu gleicher Zeit; aber dem berühmten Franklin gebührt nicht nur das unstreitige Verdienst, die Frage durch Versuche entschieden zu haben, sondern er erwarb sich zugleich durch die Erfindung des Blitzableiters ein unsterbliches Verdienst. Eine umständliche Auseinandersetzung der Theorie des Gewitters gehört mehr in die physische Erdbeschreibung als in die Naturlehre. Aber wir erwähnen hier diese Erscheinung bloß deswegen, weil sie ein auffallendes Beispiel ist, daß die Natur zur Erregung der stärksten Elektricität Mittel besitzt, die wir vielleicht gar noch nicht kennen. Denn daß die Elektricität des Gewitters durch Reibung von Luft an Luft, oder von Luft an Wasserdünsten erregt werden sollte, hat in der That nicht die geringste Wahrscheinlichkeit. Ein Umstand verdient hiebei besondere Aufmerksamkeit: daß während eines Gewitters die Luft weit umher mit Wasserdunst und fallenden Tropfen angefüllt, also die Atmosphäre in einer sehr starken leitenden Verbindung mit dem Erdboden ist, wodurch eine unendliche Menge von Elektricität aus der witternden Wolke unsichtbar abgeleitet werden muß. Da aber dennoch durch die Blitze so gewaltsame Entladungen erfolgen, und dieses oft mehrere Stunden hintereinander, so ist man gezwungen anzu-

nehmen, daß in der Gewitterwolke selbst irgend ein Proceß fortdauernd vorgehe, durch welchen eine so große Menge von Elektricität frei wird, daß die ableitende Kraft der Luft sie nicht wegnehmen, ja nur unmerklich schwächen kann. Worin dieser Proceß bestehe, wird vielleicht noch lange unentschieden bleiben. (Man vergleiche übrigens die Artikel: Blitz, Blitzableiter, Donner, Elektricität, Gewitter, Spitzen, Wetterleuchten, in den physikalischen Wörterbüchern.)

§. 2. Das Reiben ist vor der Hand allerdings das wirksamste Mittel Elektricität zu erregen; und es ist wahrscheinlich, daß bei der Reibung jeder zwei Körper, besonders zweier ungleichartiger, Elektricität erregt werde, die nur wegen ihrer geringen Stärke, oder wegen der vorhandenen Ableitungen, nicht zu einer bemerkbaren Wirksamkeit gelangen kann. Doch weiß man gegenwärtig, daß es außer dem Reiben noch sehr viele andere Mittel giebt, die Elektricität, wenn gleich in schwachen Graden, zu erregen.

Dahin gehört zuerst der große Einfluß, welchen Wärme und Kälte auf die elektrischen Erscheinungen haben. Sie verändern die leitende Kraft der Körper: glühendes Glas soll aufhören ein Nichtleiter, und gefrornes Wasser soll bei hoher Kälte aufhören ein Leiter zu sein. Wird Kieselerde in einem Tiegel erhitzt, so zeigt sie ein elektrisches Anziehen gegen die Wände des Tiegels. Am auffallendsten sind die elektrischen Erscheinungen des Turmalins, wenn er erwärmt wird. M. s. d. phys. W. B. Art. Turmalin.

Ein noch weitläuftigeres Feld zu Untersuchungen eröffnet sich hier für den Chemiker. Denn es hat den Anschein, als ob bei jedem chemischen Proceß in dem

elektrischen Zustande der Körper Veränderungen vorgingen. Wenn Wasser durch Kochen in Dämpfe verwandelt wird, wenn Kohlen verbrennen, wenn Schwefel, Siegellack, Harz, Wachs geschmolzen, wenn Eisen in Schwefelsäure aufgelöst wird, u. dgl. m., so zeigen sich Spuren von beiden Elektricitäten. Es ist nicht zu zweifeln, daß eine sorgfältige Verfolgung dieser Spur zu vielseitigen wichtigen Aufschlüssen führen werde. Wie wichtig zu dergleichen Untersuchungen solche Geräthschaften sind, welche schwache Elektricitäten bemerklich machen (XXXIX. 9.), fällt von selbst in die Augen.

Der sogenannte Galvanismus.

§. 3. Die wichtigste hieher gehörige Entdeckung unseres Zeitalters ist die, daß durch die bloße Berührung zweier Metalle in dem einen $+E$ in dem andern $-E$ erregt wird. Diese Entdeckung ist eine Quelle neuer und sehr merkwürdiger Untersuchungen geworden: denn man hat Mittel gefunden, diese Elektricität sehr beträchtlich zu verstärken; und sie bringt in diesem Zustande mehrere ganz eigenthümliche Wirkungen hervor, so daß anfänglich mehrere Naturforscher an der vollkommenen Identität derselben mit der Elektricität zweifelten. Man hat den ganzen Inbegriff dieser neuen Erscheinungen Galvanismus genannt, weil Aloysius Galvani zu Bologna die erste Veranlassung zu diesen Untersuchungen gab; ob wir gleich auch hier die wichtigsten Entdeckungen Volta's Scharfsinn verdanken.

§. 4. Im Jahre 1791 entdeckte Galvani zufällig, daß der abgeschnittene und von der Haut entblößte Schenkel eines Frosches in dem Augenblick Zuckungen bekam, wo man zwei Metalle, wovon das eine einen

Nerv, das andere einen Muskel berührte, unter sich zur Berührung brachte. Er fand, daß diese Erscheinung an allen Theilen des getödteten Thiers hervorgebracht werden konnte, daß aber die dazu nöthige Reizbarkeit der Muskeln nur eine Zeitlang nach dem Tode fortdauerte. Diese merkwürdigen Versuche wurden bald in ganz Europa von allen Naturforschern mit allen erdenklichen Abänderungen wiederholt. Folgendes sind die merkwürdigsten Beobachtungen und Entdeckungen, die theils von Galvani selbst, theils von andern Naturforschern hiebei gemacht wurden.

1. Die Erscheinung kann zwar durch jede zwei Metalle, ja auch durch einige andere Körper, als Kohle, Graphit, schwarzes krystallisirtes Braunsteinerz u. dgl. hervorgebracht werden, doch sind die wirksamsten Erreger (Excitatoren) Zink in Verbindung mit Gold oder Silber oder Kupfer.

2. Statt zweier Metalle konnte man gleichsam eine kettenartige Verbindung mehrerer Körper (eine galvanische Kette) machen, deren eines Ende der Muskel, das andere der Nerv war. Die Wirkung erfolgte, sobald man in der Mitte die Kette schloß. Doch zeigte sich, daß nicht alle Körper dazu tauglich sind, sondern daß die elektrischen Leiter und Nichtleiter auch Leiter und Nichtleiter der hier wirksamen Kraft sind.

3. Man fand, daß es nicht nothwendig sei, daß das eine Ende der Kette sich an einem Nerv, das andere an einem Muskel ende. Beide können sich an einem Nerv, oder an Muskelfasern, die mit Nerven in Verbindung stehen, enden.

4. Die Gegenwart des Wassers scheint eine nothwendige Bedingung der Erregung zu sein; denn wenn

die berührten Stellen des thierischen Körpers trocken sind, so erfolgt die Wirkung schwach oder gar nicht.

5. Der Versuch gelingt bei allen Thieren, selbst bei abgenommenen Gliedern des menschlichen Körpers; aber die Erregbarkeit dauert bei kaltblütigen Thieren weit länger nach dem Tode fort, als bei warmblütigen.

6. Auch in dem lebenden Körper können durch die Berührung zweier Metalle merkwürdige Erscheinungen hervorgebracht werden. Auf einer oder zwei wunden Stellen empfindet man einen sehr empfindlichen stechenden Schmerz, in dem Augenblick, wo man zwei Metalle, welche diese Stellen berühren, unter sich zur Berührung bringt. Legt man ein Stück Zink unter die nasse Spitze der Zunge, und oben auf die Zunge Silber, und bringt man dann beide Metalle zur Berührung, so empfindet man einen unzweideutigen sauren Geschmack. Kehrt man die Ordnung der Metalle um, so ist der Geschmack anders, nämlich brennend oder stechend, oder, wie einige wollen, alkalisch. Stemmt man ein Metall gegen den innern (benetzten) Augenwinkel, das andere zwischen die untere Lippe und Kinnlade, so sieht man in dem Augenblicke, wo sich die Metalle berühren, einen Lichtschein vor den Augen, fast wie den Wiederschein eines entfernten Blitzes. Auch in dieser Lichterscheinung will man eine feine Verschiedenheit wahrnehmen, wenn die Ordnung der Metalle verändert wird.

§. 5. Über die Erklärung dieser Erscheinungen waren die Naturforscher anfänglich sehr verschiedener Meinungen. Einige glaubten, daß man eine ganz neue bloß im thierischen Organismus wirksame Naturkraft entdeckt habe, die man daher thierische Elektricität nannte. Die meisten aber hielten die Erscheinungen für

wirklich elektrisch, theilten sich aber in der Erklärung derselben. Galvani vermuthete, daß das Innere der Nerven im lebenden Zustande Glaselektricität, die Muskeln, oder die äußere Bekleidung der Nerven Harzelektricität enthielten, und daß daher bei diesen Versuchen, etwas ähnliches, als bei Entladung einer Flasche geschehe. Volta hingegen hatte beobachtet, daß die bloße Berührung zweier Metalle in beiden einen schwachen Grad von Elektricität, und zwar in dem einen + E, in dem andern — E errege, und daß hierin, verbunden mit der schon lange vorher bekannten großen Empfänglichkeit der Nerven für die Einwirkungen der schwächsten Elektricität, der Grund der Erscheinungen liege: eine Vorstellungsart, die sich durch alle weiteren Versuche vollkommen bestätigt hat, obgleich die Berührung zweier Metalle nicht die einzige Quelle von Elektricität bei diesen Erscheinungen ist.

Die Volta'sche Säule.

§. 6. Volta's Scharfsinn, nicht Zufall, leitete ihn auf die Entdeckung eines Mittels, wodurch diese Art der Elektricität auf eine bewundernswürdige Art verstärkt werden kann. Platten von Silber und Zink, oder von Kupfer und Zink, werden abwechselnd über einander geschichtet, aber jedes Paar wird von dem folgenden durch eine mit Wasser oder einer Salzauflösung befeuchtete Platte von Tuch, oder Pappe getrennt. Übrigens muß die ganze Schichtung in immer gleicher Ordnung fortgehen: z. B. Silber, Zink, Tuch; Silber, Zink, Tuch; — — — — — Silber, Zink, so daß die beiden äußersten Enden der Säule mit dem einen Metall anfangen, und mit dem andern schließen. Bei

diesem Bau der Säulen werden ihre beiden Enden, das Silber- und Zinkende, oder auch der Silber- und Zinkpol genannt, nach der äußersten Platte die sich am Ende findet. Um die Wirkungen der Säule in hinlänglicher Stärke wahrzunehmen, sind wenigstens 50 Plattenpaare nöthig. Die einzelnen Platten können von der Größe der Thalerstücke sein. Über die Wirkung breiterer Platten werden wir besonders reden.

Es ist nicht nothwendig die Säule zu isoliren. Die oberste und unterste Platte kann man doppelt legen, und zwischen sie eine Scheibe von Messingblech, die auf einer Seite ein aus der Säule hervorragendes Häkchen hat, an welches bei den Versuchen Drähte angehängt werden können. Den Zinkpol bringt man gewöhnlich oben.

§. 7. Die merkwürdigsten Versuche, die man mit einer solchen Säule machen kann, sind folgende:

1. Hängt man Metalldrähte an die Enden der Säule, und faßt sodann mit jeder Hand einen derselben, so empfindet man in jeder Hand eine zitternde und fortdauernde Erschütterung. Die Wirkung wird stärker, wenn man beide Hände naß macht; noch stärker, wenn man in jede Hand eine benetzte Metallmasse, z. B. einen silbernen Löffel faßt, und damit die beiden Häkchen der Säule, oder die daran hangenden Drähte berührt. Oder man leitet auch die beiden Drähte in Gefäße mit Wasser, und berührt alsdann das Wasser mit beiden Händen u. dgl. m.

Man kann diese Erschütterung durch beliebige Theile des Körpers, auch durch eine Kette von einigen Personen hindurch leiten.

2. Die oben §. 4. erwähnten Lichterscheinungen lassen sich leicht und auf mehrere Arten hervorbringen, z. B. wenn man eine Stelle über und unter dem Auge

naß macht, und sie mit den beiden Drähten der Säule berührt. Für die Erregung des Geschmacks ist die Wirkung einer großen Säule zu heftig. Sonst können alle §. 3. und 4. erwähnten Erscheinungen durch die Säule sehr verstärkt hervorgebracht werden.

3. Wenn man den Draht des einen Pols mit einem sehr empfindlichen Elektrometer in Verbindung setzt, den andern Pol aber ableitend berührt, so zeigt ein sehr empfindliches Elektrometer einige Divergenz, und man hat sich auf diese Art überzeugt, daß an dem Zinkende allezeit + E, an dem Kupferende — E ausströmt. Auf ähnliche Art hat man kleine Condensatoren mit dieser Elektricität geladen; man hat aus ihnen kleine Funken erhalten, kleine Flaschen geladen, Lichtenbergische Figuren gezeichnet, u. s. f., kurz alle Wirkungen der gewöhnlichen Elektricität hervorgebracht. Doch gelingen diese Versuche nicht immer, und scheinen ihre eigenen Schwierigkeiten zu haben.

4. Hängt man einen Eisendraht an das eine Ende der Säule, und berührt mit dem Ende desselben das andere Häkchen, so zeigt sich ein elektrischer Funke. Die Erscheinung erfolgt sichrer, wenn man etwas Schaumgold um das Ende des Drahtes wickelt; der Goldschaum wird hiebei an der Stelle, wo ihn das Fünkchen trifft, verzehrt. Man hat durch diesen Funken Knall-Luft, und vermittelst des Goldschaums auch Phosphor und Schwefel entzündet, u. dgl. m.

5. Der merkwürdigste Versuch, welcher sich mit der Säule machen läßt, ist zwar ein chemischer Versuch, den wir aber doch um der allgemeinen Übersicht willen nicht übergehen dürfen; nämlich die Zersetzung des Wassers. Die Vorrichtungen dazu gestatten viele Abän-

derungen aber folgende ist eine von den einfachsten. Eine Glasröhre wird mit destillirtem Wasser gefüllt, und an beiden Seiten mit Korkstöpseln verschlossen. Durch diese gehen zwei Drähte ins Wasser, deren innere Enden einige Linien bis einen Zoll weit von einander abstehen. Gewöhnlich spitzt man sie inwendig zu, was aber unnöthig ist. Die äußeren Enden sind in Ringe umgebogen, wodurch sie mit den beiden Drähten der Säule in Verbindung gebracht werden.

Bestehen diese Drähte aus irgend einem unedlen Metall, oder auch aus Silber, so zeigen sich folgende Erscheinungen. Aus dem innern Ende desjenigen Drahts, der mit der Silber- oder Kupferseite verbunden ist, scheint ein Strom von Bläschen herauszukommen, die sich oben im Glase zu einer größeren Luftmasse häufen. Sammelt man von dieser Luft soviel, als zu einer Prüfung nöthig ist, so zeigt sich, daß es Hydrogen-Gas (XXVII. 5.) ist. Das innere Ende des andern Drahtes aber, der mit der Zinkseite der Säule zusammenhängt, belegt sich mit einem Oxyd desjenigen Metalls, woraus der Draht besteht; woraus folgt, daß auf dieser Seite eine Entbindung von Oxygen statt hat (XXVII. 3.), so daß also beide Bestandtheile des Wassers (XXI. 6. III. 9.) zum Vorschein kommen.

Bestehen aber beide Drähte aus Platin oder reinem Golde (nicht vergoldetem Silber), so entbindet sich aus beiden Gas, und zwar auf der Zinkseite Oxygen-Gas. Es läßt sich leicht auf mehr als eine Art eine Vorrichtung erdenken, beide Gasarten abgesondert aufzufangen und zu prüfen.

Man kann diese Zersetzung zwar auch durch die gemeine Elektricität, aber weder so bequem, noch so

lebhaft hervorbringen. (Man sehe Gilberts Annalen der Phys. XI. 220.)

Bei genauerer Betrachtung dieser Erscheinung zeigt sich ein sonderbarer Umstand. Man kann fragen, wo auf der Silberseite dasjenige Oxygen, auf der Zinkseite dasjenige Hydrogen bleibe, welches vor der Zersetzung an das entweichende Gas gebunden war. Die wahrscheinlichste Antwort, die sich nach dem gegenwärtigen Standpunkt der Wissenschaft darauf geben läßt, ist, daß die obgleich nur schwache auflösende Kraft des Wassers gegen beide Stoffe (XXVII. 3. u. 5.) hinreiche, beide unsichtbar aufzulösen und dann bei der Berührung ihre Wiedervereinigung zu Wasser zu begünstigen. Ritter hat aus dieser Erscheinung einen Einwurf gegen die Zersetzbarkeit des Wassers hergenommen, und derselben eine andere Erklärungsart der Erscheinungen entgegengesetzt, die Aufmerksamkeit verdient, uns aber noch lange nicht berechtigt, die bisherige zu verlassen. Er glaubt, das Wasser sei unzersetzbar, bilde aber durch Verbindung mit Glaselektricität Oxygen-Gas, durch Verbindung mit Harzelektricität Hydrogen-Gas.

6. Überhaupt äußert die Elektricität der Säule, wie es scheint, in allen chemischen Wirkungen eine größere Wirksamkeit, als in den mechanischen. In der Säule selbst geschieht in den feuchten Tuchplatten nicht nur eine Zersetzung des Wassers, sondern, wenn sie mit Salzauflösungen befeuchtet sind, auch eine Zersetzung der Salze selbst; wobei die Metallplatten, zwischen denen das Tuch liegt, stark angegriffen und oxydirt werden. Überhaupt aber hat die Erfahrung gelehrt, daß die elektrischen Erscheinungen in eben dem Maaße an Stärke zunehmen, als die Zersetzungen zwischen den Platten-Paaren lebhafter von statten gehen. Man erhält daher eine noch stärkere Wirkung, wenn man die Tuch- oder Pappen-Scheiben bloß mit einer verdünnten Säure befeuchtet. Hieraus geht aber unzweideutig hervor, daß

die Berührung der Metalle, wie schon am Ende des 5ten §. bemerkt wurde, nicht die einzige Quelle der Elektricität, wenn gleich eine wesentliche Bedingung dieser Art von Erregung ist.

§. 8. Unter den neueren Beobachtungen über diesen Gegenstand ist die merkwürdigste, daß gewisse Wirkungen mit der Höhe der Säule, oder vielmehr mit der Anzahl der Platten-Paare, andere hingegen mit der Breite der Platten zunehmen.

Die Wirkungen auf den thierischen Körper wachsen mit der Anzahl der Platten, sind aber bei den breiten Platten wenig oder gar nicht stärker als bei den kleinen. Dagegen erlangt der elektrische Funke eine unerwartete Stärke und chemische Wirksamkeit, wenn man Platten von 5 bis 8 Zoll Durchmesser anwendet. Besonders giebt es allem Ansehn nach kein Metall, das der Wirkung dieses elektrischen Feuers widerstehen könnte, und selbst die edlen Metalle schmelzen, und oxydiren sich mit einer schönen Lichterscheinung, d. h. sie verbrennen; nur müssen sie in sehr dünn geschlagenen Blättchen zu diesen Versuchen angewendet werden.

§. 9. Man hat vermittelst großer Säulen, aus breiten Platten höhst unerwartete Entdeckungen in dem Gebiet der Chemie gemacht. Besonders hat Davy entdeckt, daß die Alkalien und reinen Erden nicht, wie es sonst den Anschein hatte, einfache Stoffe, sondern aus einem metallähnlichen Bestandtheil (Metalloid), und aus Oxygen zusammengesetzt sind. Die Chemie hat also durch die Voltaische Säule ein neues wunderbares Zersetzungsmittel erhalten, welches ohne Zweifel die Gränzen der Wissenschaft sehr erweitern wird. (Gilberts Annalen B. 31 — 42.)

Anm. Der Besorgniß, daß durch so tief eingreifende Entdeckungen, das bisherige System der Chemie untergraben, und ganz umgestürzt werden dürfte, kann man nur Raum geben, wenn man nicht scharf unterscheidet zwischen Thatsachen und erwiesenen Wahrheiten auf der einen Seite, und Hypothesen auf der andern. Jene bleiben ewig fest, können aber erweitert werden; dem Wechsel sind nur die letztern unterworfen.

§. 10. Es ist bei allen Versuchen mit der Säule ein beschwerlicher Umstand, daß sich die Metallflächen da, wo sie die feuchten Leiter berühren, schnell und stark oxydiren. Dadurch wird die Wirksamkeit der Säule bald vernichtet, und die Reinigung der Platten ist mühsam. Man hat daher häufig versucht, Säulen aus bloßen trocknen Stoffen zusammen zu setzen. Diese Versuche sind nicht ohne Erfolg geblieben, und man kann z. B. eine sogenannte trockne Säule auf eine höhst einfache Art aus Platten-Paaren von sogenanntem Gold- (Kupfer-) und Silber- (Zink-) Papier zusammensetzen, wenn man die Scheiben so zusammenlegt, daß die Metallflächen einander berühren, die Papiermasse aber die Stelle des feuchten Leiters vertritt. Zamboni, de Lüc, Bohnenberger, u. a. haben auf verschiedene Art dergleichen Säulen zusammengesetzt. Man kann zwar nicht sagen, daß durch dergleichen Säulen wichtige neue Entdeckungen im Gebiete der Elektricität gemacht wären, doch sind sie nicht unmerkwürdig. Besonders verdient der Umstand Aufmerksamkeit, daß die mechanischen Wirkungen der Säulen (Anziehen und Abstoßen) dadurch in beträchtlicher Stärke erhalten werden, daß aber von den chemischen Wirkungen sich nur schwache Spuren zeigen. Ihre Wirksamkeit kann aber Monate, ja Jahre lang dauern. Nähere Nachrichten

über dieselben findet man in Gilberts Annalen der Jahre 1815. und 1816.

Die Herrn Behrens und Bohnenberger haben die trocknen Säulen benutzt, zur Erfindung eines eben so sinnreichen, als sichern und höhst empfindlichen Elektrometers. Von dem metallenen Deckel eines cylindrischen Glases, hängt in der Mitte ein schmaler und ein Paar Zoll langer Streifen von geschlagenem Blattgolde. Zu beiden Seiten desselben sind an demselben Deckel zwei kleine in Glasröhren eingeschlossene trockene Säulen, von derselben Länge befestigt, deren eine den Zinkpol, die andere den Kupferpol unten hat. Theilt man dem Deckel + E mit, so wird das Goldblättchen vom Kupferpol, theilt man ihm − E mit, vom Zinkpol angezogen. Sind die Säulen sorgfältig gemacht, so bleibt das Instrument Jahre lang wirksam. Eine etwas vollständigere Beschreibung findet man in Gilbert B. 51. S. 190.

Bemerkenswerth, wenn auch minder wichtig, ist eine Art von elektrischem Perpetuum mobile, welches man vermittelst zweier trockner Säulen, errichten kann. Man vergleiche Gilbert B. 49. S. 42. u. 183. ff., desgl. B. 51. S. 78. ff. Auch vergl. man Neumanns Lehrb. der Phys. Th. II. §. 878 — 881.

Anwendung der Symmerschen Hypothese auf die Säule.

§. 11. Volta's Scharfsinn verdanken wir den ersten gründlichen Versuch über die Theorie der Säule. Er hatte, wie schon erwähnt worden, unabhängig von Galvani's Entdeckungen bemerkt, daß, wenn sich zwei ungleichartige Metall-Platten, besonders Kupfer und Zink,

berühren, in dem Gleichgewichte ihrer Elektricität eine Veränderung vorgehe. Wenn vor der Berührung keine von beiden Platten Elektricität zeigte, so zeigt sich durch feine elektrometrische Vorrichtungen nach der Berührung in der Zinkplatte freie + E, in der Kupferplatte freie — E. Da Volta viele Metalle und andere Körper in dieser Rücksicht untersucht hatte, so zeigte sich, daß man zwei Arten von Leitern unterscheiden müsse: 1) Erreger (Commotoren oder Excitatoren), welche zwar der Elektricität einen Durchgang gestatten, aber zugleich bei der Berührung auf die eben erwähnte Art + und — E anders unter sich vertheilen, 2) bloße Leiter, welche nur der Elektricität einen Durchgang gestatten, ohne in ihrem Gleichgewichte eine Veränderung zu machen. Zwar urtheilte Volta selbst, daß es vielleicht keinen absoluten Leiter der zweiten Art gebe, aber bei vielen ist die erregende Kraft so schwach, besonders bei dem Wasser, daß sie sich der Beobachtung entzieht.

Erreger sind hauptsächlich die Metalle. Stellt man Silber, Kupfer, Eisen, Zinn, Blei, Zink, in die hier beobachtete Ordnung, so erhält jedes derselben in Berührung mit einem vorhergehenden + E, mit einem nachfolgenden — E.

§. 12. Diese Bemerkungen leiteten Volta'n auf die Erfindung der Säule. Denn stellt man sich zuerst ein einziges Platten-Paar auf einer nicht isolirenden Unterlage vor, und zwar das Kupfer unten, so wird in diesem die — E, im Zink die + E ein kleines Übergewicht erhalten. Legt man also auf dieses Paar einen Leiter der zweiten Art (feuchtes Tuch), und hierauf ein zweites Platten-Paar, so muß sich die Elektricität der unteren Zinkplatte gleichförmig durch den feuchten Leiter

und die untere Kupferplatte des zweiten Paars verbreiten. Da nun die untere Zinkplatte einen Überschuß an + E hatte, so muß sich dieser auch im feuchten Leiter, und in der zweiten Kupferplatte finden. Da aber das Zink stets gegen berührendes Kupfer einen Überschuß an + E hat, so muß in der zweiten Zinkplatte eine größere Menge von freiem + E als in der ersten enthalten sein. Fährt man nun fort die Säule durch Auflegung von feuchten Leitern und Platten-Paaren ganz gleichförmig aufzubauen, so überzeugt man sich leicht durch Fortsetzung eben der Schlüsse, daß durch die ganze Säule in den Zinkplatten die freie + E von unten bis oben zunehmen müsse. Durch ähnliche Schlüsse aber wird klar, daß die freie — E der Kupferplatte von unten nach oben mit jedem Platten-Paare abnehmen, oder von oben nach unten zunehmen müsse. Wenn der Überschuß von + E im Zink in allen Paaren gleich groß ist, so sieht man leicht, daß die + E von unten nach oben, und eben so im Kupfer die — E von oben nach unten in arithmetischem Verhältniß zunehmen müsse, welches mit vorgenommenen Messungen der Elektricität ziemlich gut zu stimmen scheint.

Da wir angenommen haben, die Säule sei unten nicht isolirt, so begreift man, wie durch Zuströmen der ± E aus dem Boden sich die Elektricität in der Säule beträchtlich anhäufen müsse. Ist aber die Säule unten isolirt, so vermehrt sich zwar die Menge der in der ganzen Säule enthaltenen ± E nicht, aber die + E verdichtet sich gegen oben, und die — E gegen unten.

Ist die Säule nicht isolirt, und man bringt auch oben am Zinkende eine Ableitung an, so muß ein Strömen beider Elektricitäten entstehen. Die freie + E des

Zinks strömt oben, und die freie — E des Kupfers unten ab. Aber statt ihrer dringt durch beide Leitungen neue ± E hinzu, und vertheilt sich in der Säule auf die beschriebene Art.

Verbindet man die beiden Ableitungen untereinander, so entsteht ein kreisartiger Umlauf der Elektricitäten. Die + E des oberen Endes strömt nach unten, und die — E des unteren Endes nach oben, so daß sich in der geschlossenen Kette beide begegnen.

Es ist denkbar, daß durch dieses Strömen alle die oben erwähnten Wirkungen hervorgebracht werden. Besonders sieht man auch, warum hier Feuchtigkeit nöthig, die Isolirung aber gar nicht so nothwendig ist, als bei der gemeinen Elektricität.

Anm. 1. Versteht man unter + E und — E nicht Materie, sondern nur die Erscheinungen beider Elektricitäten, so enthält diese Erklärung gar nichts hypothetisches (außer, daß in den feuchten Leitern gar keine Erregung statt finde). Sie wird daher ohne Zweifel immer die Grundlage einer Theorie bleiben, und ist in diesem Sinne selbst auf die Franklinsche Vorstellungsart (deren sich Volta immer bediente) anwendbar, wenn man sich unter — E immer nur einen verhältnißmäßigen Mangel an + E vorstellt.

2. Wenn man annimmt, daß der Überschuß von + E in der Zinkplatte gegen die in der Kupferplatte enthaltene in allen Paaren gleich groß sei, so lassen sich sehr leicht Formeln angeben, um den elektrischen Zustand jeder Platte zu bestimmen. Indessen dürften diese Formeln doch sehr unsicher sein, theils weil die eben erwähnte Annahme unsicher ist, theils weil dabei auf eine thätigere Mitwirkung des Zwischenleiters nicht gerechnet ist; die doch offenbar statt findet, da eine Veränderung der angewendeten Flüssigkeiten (Wasser, Salzauflösung, Säure) offenbar von sehr großem Einfluß ist.

§. 13. Über die Mitwirkung der feuchten Leiter haben sich verschiedene Naturforscher verschiedene Vor-

stellungen gemacht. Vielleicht ist folgende nicht ohne Wahrscheinlichkeit:

Wir haben schon anderwärts (z. B. XL. §. 2.) bemerkt, daß bei chemischen Zersetzungen und Zusammensetzungen, jederzeit die Elektricität eine (vielleicht sehr wichtige) Rolle spiele. Nun lehrt die Erfahrung, daß die Feuchtigkeit in den Leitern der Säule allezeit eine Zersetzung leidet. Nimmt man daher an, daß mit dieser Zersetzung auch eine Trennung von + E und — E der in ihnen enthaltenen ±E verbunden sei, so begreift man, daß die frei gewordene +E sowohl als —E den Strömen folgen müsse, welche durch die Berührung der Metalle hervorgebracht werden. Nimmt man aber an, daß der feuchte Leiter bei der Berührung eines einzigen Metalles, es sei Kupfer oder Zink, nur als Leiter wirkte, so behalten alle im vorigen §. gemachten Schlüsse ihre Gültigkeit, nur wird die Menge der in Bewegung gesetzten +E und —E größer sein. Der Verfasser will übrigens dieser Ansicht keinen andern als einen hypothetischen Werth beilegen.

§. 14. Vollständigere Belehrungen über die Elektricität findet man zwar, außer vielen andern Büchern, in unsern physikalischen Wörterbüchern, aber sie enthalten nichts von den neuern Entdeckungen. Wer sich vollständig unterrichten will, muß hauptsächlich Gilberts Annalen durchgehen, wo aber die Abhandlungen in allen Bänden zerstreut sind. Besonders reichhaltig sind die Jahrgänge von 1809. bis 1812. Eine vortreffliche Abhandlung über die Elektricität hat uns Biot im 2ten Theile seines vortrefflichen 1816. zu Paris in 4 Theilen erschienenen Werks: Traité de Physique experimentale et mathématique, gegeben. Eine kürzere sehr lehr-

reiche Darstellung findet man in Biot's Erfahrungs-Naturlehre, übersetzt von Wolff (Berl. 1819.) Th. I. Unter den deutschen neuen Handbüchern erwähne ich nur Schmidts Handbuch der Naturlehre, wovon 1813. in Gießen die zweite Ausgabe erschienen ist. Sie enthält in gedrängter Kürze viel Gründliches. Auch in Neumanns Lehrbuch der Physik (Wien, 1818. u. 1820.) findet man im 2ten Theile eine recht lehrreiche Abhandlung über die Elektricität, und besonders auch über den Galvanismus.

Siebenter Abschnitt.

Von der magnetischen Kraft.

Einundvierzigstes Capitel.

Von den allgemeinen Eigenschaften des Magnets.

§. 1. Unter den schwarzen Eisenerzen, worin das Eisen im Zustande einer schwachen Oxydation enthalten ist, finden sich Stücke, welche die bekannte wunderbare Eigenschaft besitzen, das Eisen durch eine unsichtbare Kraft anzuziehen, und zwar bisweilen in beträchtlichen Massen. Diese nennt man natürliche Magnete. Man kann aber auch dem metallischen Eisen und dem Stahl diese Kraft durch Kunst mittheilen; dieß sind künstliche Magnete. Man glaubte sonst, daß die magnetische Kraft dem Eisen ausschließend eigen sei; man weiß aber jetzt, daß noch zwei andere Metalle, Nickel und Kobalt, an den magnetischen Eigenschaften Theil nehmen, und dieß um so stärker, je reiner sie sind. Da es indessen schwer ist, diese Metalle ganz rein und in beträchtlichen Massen zu erhalten, so sind die Versuche mit denselben nicht ohne Schwierigkeiten. Doch hat man sich überzeugt, daß sie des Magnetis-

mus in seinem ganzen Umfange empfänglich sind. Nach Coulomb's Behauptung nehmen sogar alle festen Körper an den magnetischen Eigenschaften Theil, nur so schwach, daß sich ihre Kraft unsern Beobachtungen entzieht, und nur in gewissen äußerst feinen Versuchen bemerklich wird.

Anm. Über den Magnetismus anderer Körper ist zu vergleichen: Gilbert IV. St. 1. V. 384. XI. 367. XII. 194. LXIV. 395. und an mehreren andren Stellen.

Verhalten des Magnets gegen unmagnetisches Eisen.

§. 2. Metallisches Eisen und schwarzes Eisenoxyd (aber nicht stärker oxydirtes), haften an einem Magnet mit beträchtlicher Kraft an. Die Größe dieser Kraft läßt sich durch das Gewicht des Eisens messen, welches der Magnet zu tragen vermag. Sie hängt nicht von der Größe des Magnets ab: denn es giebt große Magnete die wenig, und kleine, die sehr viel (wohl mehr als das Zehnfache ihres eigenen Gewichts) tragen. Die Erfahrung lehrt übrigens, daß die Kraft bei einem und demselben Magnete veränderlich ist.

§. 3. Die magnetische Kraft äußert sich nicht in allen Punkten der Oberfläche mit gleicher Stärke. Gewöhnlich giebt es zwei (selten mehr) Stellen, die am stärksten ziehen, und die man Pole des Magnets nennt. Man kann die Pole sichtbar machen, wenn man den Magnet in Eisenfeile legt, die sich in ihrer Gegend stärker als anderwärts an den Magnet anhängt. Auch kann man sie durch ein kleines Stückchen dünnen Eisendrahtes finden. Wo ein Pol ist, hängt es sich mit einer Spitze an den Magnet, und steht senkrecht auf

der Oberfläche. Anderwärts hängt es zwar auch an, nimmt aber eine schiefe, hauptsächlich gegen den nächsten Pol gerichtete Lage an. Auf Stellen, die von beiden Polen ungefähr gleichweit abstehen, legt es sich platt an die Oberfläche an. In der Folge werden wir in der Magnet-Nadel ein noch genaueres und bequemeres Mittel zu diesem Zwecke kennen lernen.

§. 4. Wenn beide Pole zugleich auf das Eisen wirken können, so wird die magnetische Anziehung verstärkt. Man giebt daher den künstlichen Magneten oft die Gestalt eines Hufeisens, an dessen beiden Enden die Pole liegen. Dann legt man ein Stück weiches Eisen, welches man den Anker nennt, an beide, und belastet diesen mit so vielem Gewicht, als der Magnet tragen will.

§. 5. Die magnetische Kraft wirkt nicht bloß bei der Berührung. Eisenfeile springt gegen einen etwas kräftigen Magnet in die Höhe. Sie nimmt aber mit der Entfernung ab. Das Grundgesetz, nach welchem sie abnimmt, ist aber nicht leicht durch Versuche auszumitteln. Denn ob es gleich eben nicht schwer ist, vermittelst einer Wage, an welcher man entweder den Magnet, oder das Eisen, das er ziehen soll, befestigt, und ins Gleichgewicht setzt, die Größe der anziehenden Kraft für jede Entfernung zu bestimmen, so haben doch die Versuche gelehrt, daß das Gesetz der Abnahme durch die Gestalt, Größe und Lage beider Körper auf so mannigfaltige Art modificirt wird, daß es schwer ist, das eigentliche Grundgesetz und den Einfluß der modificirenden Umstände sicher zu bestimmen.

Anm. Coulomb, der eine Menge scharfsinniger und feiner Untersuchungen über die magnetischen Kräfte angestellt

(Gren's neues Journ. d. Ph. B. II. S. 298. u. f.), hat vermittelst einer magnetischen Wage (die auf ähnlichen Gründen, als die oben XXXIX. 14. ff. beschriebene elektrische beruht) gezeigt, daß auch die magnetische Kraft im umgekehrten Verhältniß mit dem Quadrat der Entfernung abnehme. Man vergl. noch hiebei, Hauy's Physik (übersetzt von Weiß. Leipzig 1804.) Th. II. §. 546. u. f. Biot Essai de Phys. exp. et math. Vol. III. p. 63. u. f. Man sieht übrigens leicht, daß Versuche und Untersuchungen hierüber nicht ohne Schwierigkeit sind. Denn da man die magnetische Kraft nicht in einem einzigen Punkte, oder sehr kleinen Körper concentriren kann, sondern sie immer, und zwar in ungleicher Stärke über einen Körper von beträchtlicher Größe ausgebreitet ist, so ist die Wirkung, die man erhält, auf jeden Fall das Resultat von unendlich vielen Anziehungen und Abstoßungen, also etwas sehr verwickeltes. Man vergleiche noch Gilbert B. 64. S. 395. ff. und S. 374. ff. Desgl. B. 11. S. 367; 12. S. 194.

§. 6. Legt man einen Magnet unter eine ebene Scheibe von Glas, Holz, Pappe, Metall, oder wovon man sonst will, nur nicht von Eisen, und streut dann Eisenfeile auf die Fläche, so ordnen sich die Spähne reihenweise an einander, und bilden krumme Linien, die aus dem einen Pole heraus, und in den andern hineinzugehen scheinen, so daß man die Stellen der Pole sehr deutlich unterscheiden kann.

Dieser Versuch lehrt zugleich, daß die magnetische Kraft ungehindert durch alle Körper hindurch wirkt, mit Ausnahme des Eisens, welches nach Verschiedenheit seiner Lage die Wirkung eines Magnets bald befördert, bald schwächt. Ja wir werden in der Folge (§. 10.) sehen, daß die Wirkung der Kraft nicht einmal durch dazwischen liegende Körper im geringsten geschwächt wird.

Es ist daher leicht, sowohl einen Magnet, als das Eisen, welches er ziehen soll, zu verbergen, worauf die unzählbare Menge von magnetischen Kunststücken beruht.

§. 7. Man kann die Kraft eines Magnets erhalten, ja oft noch verstärken, wenn man ihn so viel tragen läßt, als er tragen kann. Auch ist es zuträglich, seine Pole in der ihnen natürlichen Lage (§. 8.) zu erhalten. Läßt man ihn müßig liegen, so schwächt sich seine Kraft allmählig. Kleine Magnete kann man in Eisenfeile legen. Rost schwächt die magnetische Kraft. Starkes Erhitzen, das sich dem Glühen nähert, zerstört sie. Auch hat man beobachtet, daß ein Fall, oder Schläge mit einem Steine, auch der elektrische Schlag der magnetischen Kraft bisweilen nachtheilig sind.

Über den Zusammenhang zwischen Elektricität und Magnetismus, desgleichen zwischen Wärme und Magnetismus sind neuerlich äußerst merkwürdige Entdeckungen gemacht worden, von denen aber erst im 43sten Capitel die Rede sein kann. Daher kann es hier genügen, nur zu bemerken, daß beide Einfluß auf die magnetische Kraft haben.

Verhalten des Magnets für sich.

§. 8. Wenn man einen Magnet auf irgend eine Art in die Lage versetzt, daß er sich in horizontaler Richtung frei drehen kann, so nimmt er allezeit von selbst eine bestimmte Richtung gegen die Himmelsgegenden an, indem sich einer seiner Pole gegen Mitternacht der andere gegen Mittag wendet. Jenen nennt man daher den Nordpol, diesen den Südpol des Magnets. Man nennt diese wunderbare Eigenschaft die Polarität des Magnets.

Auf ihr beruht die Einrichtung der Magnetnadel, die nichts als ein kleiner Magnet von Stahl ist,

der sich auf einer feinen Spitze sehr frei horizontal drehen kann. Wie unschätzbar wichtig dieses einfache Werkzeug für die Schiffahrt, und durch sie für das ganze menschliche Geschlecht geworden ist, muß jedem Nachdenkenden einleuchten. Man kennt den Entdecker desselben nicht, und setzt nur sehr unsicher die Zeit der Entdeckung zwischen das zwölfte und vierzehnte Jahrhundert. Die Alten kannten sie nicht, ob ihnen gleich der Magnet und seine anziehende Kraft gar nicht unbekannt war.

So verschieden übrigens Anziehung des Eisens und Polarität auf den ersten Blick scheinen, so werden wir doch in der Folge sehen, daß die Polarität selbst nur die Wirkung von einer magnetischen Anziehung des ganzen Erdkörpers ist.

Verhalten eines Magnets gegen den andern.

§. 9. Zwei Magnete ziehen einander in gewissen Punkten an, und zwar noch stärker, als Magnet und Eisen, in andern stoßen sie einander ab: und vermittelst zweier Magnetnadeln, oder auch eines Magnets und einer Magnetnadel, läßt sich sehr leicht das Gesetz dieser Erscheinungen sichtbar machen:

daß ungleichnamige Pole (Nord- und Südpol) einander anziehen, gleichnamige hingegen (Nord- und Nordpol, oder Süd- und Südpol) einander abstoßen.

Man nennt daher auch die ungleichnamigen Pole freundschaftliche, und die gleichnamigen feindliche.

Dieses Gesetz giebt ein leichtes Mittel, die Pole eines Magnets zu finden, und namentlich zu bestimmen.

§. 10. Da ein mäßig starker Magnet schon in beträchtlicher Entfernung auf eine gute Magnetnadel

wirkt, so läßt sich sehr deutlich zeigen, daß die magnetische Kraft, durch keine zwischen beide gelegte Körper geschwächt wird; woraus unzweideutig folgt, daß die magnetischen Erscheinungen von einer Kraft herrühren, welche die dichtesten Körper frei durchdringt, und von ihnen durchdrungen wird.

Mittheilung des Magnetismus.

§. 11. Man kann einem kleinen Stück Eisen schon durch einen einzigen, oder durch mehrere Striche mit dem Pol eines Magnets, eine merkliche magnetische Kraft mittheilen, wobei nur die Regel zu beobachten ist, daß man immer nur nach derselben Richtung streichen muß, weil ein rückwärts gemachter Strich die schon mitgetheilte Kraft wieder schwächt. Eine der wirksamsten Arten des Streichens ist folgende. Es sei *ns* Fig. 78. ein unmagnetisches Eisen, NS ein Magnet, N der Nordpol, S der Südpol desselben. Man setzt den Magnet auf das Eisen, unter einem kleinen Winkel, wie die Figur zeigt, daß der Nordpol auf der Mitte des Eisens liegt; dann zieht man ihn in der Richtung von N nach s auf dem Eisen bis zu Ende fort; hierauf bringt man durch einen Umweg den Magnet wieder in die erste Lage, und wiederholt das Streichen auf dieselbe Art öfters. Nachher kehrt man den Magnet um, setzt seinen Südpol auf die Mitte des Eisens, und streicht die zweite Hälfte in der entgegengesetzten Richtung von S gegen n eben so oft als die erste Hälfte, so erhält das Eisen dadurch eine beträchtliche magnetische Kraft.

Weiches Eisen nimmt die Kraft schneller an; Stahl bindet sie dauerhafter.

Man nennt das Streichen mit einem einzigen Magnet, den einfachen Strich. Vom Doppelstrich, der mit zwei Magneten gemacht wird, sind größere Werke nachzusehen.

Herr Biot erinnert, daß es bei der Mittheilung des Magnetismus durch Streichen noch besser sei, den streichenden Magnet unter einem Neigungswinkel von 10 bis 12 Grad gegen das Eisen zu halten, als ihn ganz auf dasselbe zu legen. Auch ist es gar nicht nöthig den Magnet an das Eisen anzudrücken.

§. 12. Ein allgemeines Gesetz bei allen Arten von Mittheilung ist:

daß die Stellen, die einander zuletzt berühren freundschaftliche, also ungleichnamige Pole werden.

Bei der beschriebenen Art des Streichens muß also s ein Südpol, und n ein Nordpol werden.

§. 13. Der Magnet verliert durch ein regelmäßiges Streichen wenig oder nichts von seiner Kraft. Man kann daher durch einen einzigen Magnet sehr viele Stäbe magnetisiren, und durch Verbindung derselben einen sehr starken Magnet machen, welches man ein magnetisches Magazin nennt.

Vertheilung des Magnetismus und magnetischer Wirkungskreis.

§. 14. So lange ein Stück Eisen an einem Magnet hängt, ja wenn es nur in die Nähe desselben kommt, so ist es selbst magnetisch. Dieser Magnetismus verschwindet aber wieder, bis auf einen kleinen Überrest, wenn man das Eisen vom Magnet wieder entfernt.

Man sagt, das Eisen sei in diesem Falle nicht durch Mittheilung, sondern durch Vertheilung der magnetischen Kraft magnetisch; und den Raum inner-

halb dessen sich diese Erscheinung zeigt, nennt man den magnetischen Wirkungskreis. Eine gewisse Ähnlichkeit mit der Vertheilung der Elektricität und dem elektrischen Wirkungskreise ist nicht zu verkennen.

Durch eine Magnetnadel kann man sehr leicht folgendes Gesetz bemerklich machen, welches allezeit bei der Vertheilung der magnetischen Kraft statt findet,

daß das Eisen an der Seite, die dem Magnete zugewendet ist, einen Pol erhält, der gegen den nahen Pol des Magnets freundschaftlich ist; folglich das andere Ende einen feindlichen oder gleichnamigen Pol hat.

§. 15. Diese Ähnlichkeit mit der Elektricität hat Hypothesen über die Ursache des Magnetismus veranlaßt, die der Franklinschen und Symmerschen Hypothese ähnlich sind.

Äpinus nahm eine einzige magnetische Materie an, deren Theile einander abstoßen, vom Eisen und Stahl aber angezogen werden. Sie ist überall gleichförmig verbreitet. Im Eisen ist sie gehäuft, aber gleichförmig. Im Magnet ist auf der einen Seite Überfluß, positiver Magnetismus, oder + M; auf der andern Seite ist Mangel, negativer Magnetismus, oder — M.

Wilke und Brugmann nehmen zwei magnetische Materien an: beide ziehen einander an: die Theile jeder einzeln stoßen sich zurück. Im Eisen finden sich beide im gebundenen Zustande; im Magnet sind sie getrennt, und jede auf einer Seite gehäuft.

Schwerlich ist eine dieser Hypothesen richtig; aber die letzte ist ein bequemes Mittel, die Gesetze des Magnetismus an eine sinnliche Vorstellung zu knüpfen.

Die ältern Hypothesen von des Cartes, Euler, Bernoulli ꝛc., welche sich vorstellten, daß eine Materie in wirbelnder Bewegung sich in dem Magnete befinde, sind gezwungener und weniger genugthuend.

Neuere Beobachtungen haben indessen die Idee von Wirbeln wieder erneuert, nur sind sie anders modificirt, als die Cartesischen.

§. 16. Aus dem Gesetz der Vertheilung erklären sich sehr genugthuend die oben §. 6. erwähnten krummen Linien, welche feine Eisenspähne durch die magnetische Anziehung bilden.

§. 17. Auf eben dem Gesetz beruht die sogenannte Armatur eines natürlichen Magnets. Es sei Asn Fig. 79. ein natürlicher Magnet; sein Südpol s; sein Nordpol n. An beiden Stellen sei die Masse eben gefeilt. Ein Stück weiches Eisen, BC, werde nun so gefeilt, daß es sich an den Magnet, und besonders an die Pole desselben dicht anschließt. Gerade unter den Polen giebt man ihm zwei Füße S und N. Den übrigen Körper des Magnets bekleidet man mit einer Hülle DEF von Messingblech, und versieht diese oben bei F mit einem Ringe, um das Ganze aufhängen zu können. An die beiden Füße legt man dann einen Anker (§. 4.), ihn bequemer zu belasten. Diese Vorrichtung nennt man die Armatur (Bewaffnung) eines natürlichen Magnets.

In dieser Verbindung wird das weiche Eisen BC durch Vertheilung selbst ein Magnet, der seinen Südpol in S, und seinen Nordpol in N hat.

Die Erfahrung hat gelehrt, daß ein gewaffneter Magnet stärker und dauerhafter zieht als ein ungewaffneter.

Zweiundvierzigstes Capitel.

Von der Declinations- und Inclinations-Nadel.

§. 1. Wenn eine noch nicht magnetische Nadel so gearbeitet wird, daß sie auf ihrer Spitze vollkommen horizontal schwebt, und man magnetisirt sie nun, so ist das Gleichgewicht verschwunden, und sie neigt in unsern Gegenden ihr nördliches Ende sehr tief gegen die Erde herab. Aus dieser Erscheinung folgt, daß die Kraft, wodurch die Richtung der Magnetnadel bestimmt wird, in unsern Gegenden nicht horizontal, sondern unter einem sehr beträchtlichen Neigungswinkel gegen den Horizont wirke. Will man daher die Erscheinungen der Magnetnadel vollständig beobachten, so sind dazu zwei Arten von Nadeln nöthig; eine zur Untersuchung der horizontalen Richtung der Nadel (Deklinationsnadel); eine andere zur Untersuchung ihrer natürlichen Neigung gegen den Horizont (Inclinationsnadel).

Die Declinationsnadel.

§. 2. Man macht das nördliche Ende einer Declinationsnadel leichter als das südliche, so daß sie nach Mittheilung des Magnetismus vollkommen horizontal schwebt. Dann schließt man sie in ein Gehäuse von Messing, und umgiebt sie mit einem Kreise, der entweder in Grade, oder für den Schiffer in 32 Windstriche oder für den Bergbau in 24 ganze und Achtelstunden, eingetheilt ist.

Eine solche Nadel bekommt verscheidene Namen, nach dem besondern Zweck, wozu sie eingerichtet ist.

Eine kleine Nadel, auf welcher bloß die Haupt-Himmelsgegenden, nebst dem magnetischen Meridian (§. 3.) angedeutet sind, nennt man eine Orientir-Nadel. Ist sie zu genauen Untersuchungen über die Richtung der Nadel in physikalischer Hinsicht bestimmt, so heißt sie ein Declinatorium. Man macht sie 6 bis 12 Zoll lang. Die Nadel und die Eintheilung des Randes müssen äußerst genau gearbeitet sein. Wird sie für den Gebrauch der Schiffer eingerichtet, so heißt sie ein Schiffs-Compaß; für das Bedürfniß des Bergbaues ein Berg-Compaß. Auch kann sie als ein sehr brauchbarer Winkelmesser dienen, dann heißt sie eine Boussole.

Anm. Die beste Vorrichtung der Magnetnadel zu genauen Versuchen, besteht darin, daß man sie an einem einfachen Seidenfaden, wie er vom Cocon abgewickelt wird, aufhängt. Bei dieser Vorrichtung sind alle Hindernisse der freien Bewegung fast ganz gehoben. Bloß der geringe Widerstand der Luft und einer fast ganz unmerklichen Drehungskraft bleiben übrig. Coulomb ist der Erfinder dieser Vorrichtung, welche der oben bei der elektrischen Wage beschriebenen ganz ähnlich ist. Wenn man in gedrängter Kürze die Erscheinungen des Magnetismus und die genauesten Beobachtungsarten kennen lernen will, so muß man zwei Abhandlungen des Herrn Coulomb in den Mémoires de l'Institut lesen; Tom. V. über die Bestimmung der Inclination von jedem Orte, und Tom. VI. über die sichersten und einfachsten Mittel eine Nadel bis zur Sättigung zu magnetisiren.

(Anm. des französischen Übersetzers.)

§. 3. Vergleicht man die Richtung einer Deklinationsnadel, mit einer astronomisch gezogenen genauen Mittagslinie, so zeigt sich, daß sie in unsern Gegenden nicht genau nach Norden gerichtet ist, sondern ungefähr

18° westlich abweicht (declinirt, daher Declinations-Nadel). So wie man die wahre Nordlinie, den astronomischen Meridian nennt, so nennt man die Richtung der Magnetnadel den magnetischen Meridian.

§. 4. Die Abweichung ist aber nicht an allen Orten gleich. Wenn man von Europa aus westlich oder östlich geht, so findet man auf beiden Wegen, je weiter man fortrückt, desto geringere westliche Abweichung. Nur auf der Westseite dürfte sie jetzt zuerst noch ein wenig zunehmen. Durch Nordamerika geht ein Strich, der ungefähr in südöstlicher Richtung am Mexicanischen Meerbusen und Brasilien, ins Atlantische Meer herunter geht, wo die Abweichung Null ist. Ein anderer dergleichen Strich läuft in ähnlicher Richtung mitten durch Asien und das ganze Südmeer. Jenseits dieser beiden Striche weicht die Nadel östlich ab; am stärksten ungefähr in der Mitte zwischen beiden. Geht man nordwärts mit einiger Abweichung gegen Westen, oder südwärts mit östlicher Abweichung, so verändern sich die Abweichungen wenig, und es lassen sich auf einer Erdkugel, oder auf einem Planiglob Linien ziehen, in welchen man überall gleiche Abweichung hat. Diese Linien nennt man Abweichungs-Linien. Ihre Gestalt ist ziemlich unregelmäßig.

Über die Abweichung der Magnet-Nadel hat man eine ungemein große Menge von Beobachtungen, fast aus allen Ländern und Meeren. Daher lassen sich die Abweichungs-Linien ziemlich richtig zeichnen. Halley führte zuerst die Idee für das Jahr 1700 aus. Seine Abweichungs-Charte findet man in den Philos. Trans. Copien derselben finden sich in mehreren phys. Werken von Muschenbröck. In dem Berl. astron. Jahrb. für 1779. hat Lambert eine neue Charte für das Jahr 1772. gegeben. Eine Copie derselben

giebt Gehler B. I. Taf. II. Neuerlich hat Hansteen Professor zu Christiania in Norwegen, ein sehr schätzbares Werk Untersuchungen über den Magnetismus der Erde herausgegeben, bei welcher sich die genaueste und vollständigste Charte dieser Art findet. (Man vergl. noch den Art. Abweichung der Magnet-Nadel in den phys. W. B.)

§. 5. Es ist aber auch die Abweichung an jedem Orte veränderlich. Im siebzehnten Jahrhundert ging der jetzt durch Amerika gehende Strich, wo die Abweichung Null ist, durch Europa; seit dieser Zeit hat er sich mit westlicher Bewegung von uns entfernt, und so scheinen sich alle Abweichungs-Linien in dem Zeitraum von einigen Jahrhunderten um die Erde herum zu drehen. Man sieht aber leicht ein, was hieraus für Veränderungen der Declination an jedem Orte erfolgen müssen. Die westliche Abweichung nimmt langsam zu, bis sie eine gewisse Gränze (bei uns 18 bis 19 Grade) erreicht hat; dann fängt sie an langsam zurückzugehen, wird zu einer gewissen Zeit Null, geht dann in östliche Abweichung bis zu einer gewissen Gränze über, und rückt dann wieder zurück u. s. f. Es werden indessen die fortgesetzten Beobachtungen mehrerer Jahrhunderte erfoderlich sein, um die Periode und die Gesetze dieser Bewegung mit Sicherheit angeben zu können. Nach den bisherigen Beobachtungen, die ungefähr erst seit anderthalbhundert Jahren, und nur an wenigen Orten mit der erfoderlichen Genauigkeit angestellt sind, scheint die Bewegung nicht sehr regelmäßig zu sein.

Anm. Herr Biot bemerkt, daß es nicht einmal sicher sei, ob die Nadel eine solche nach West und Ost oscillirende Bewegung mache, als im §. angedeutet worden, da die

Nadel schon seit einer beträchlichen Reihe von Jahren in ihrer größten westlichen Abweichung still zu stehen scheine. Indessen hat sie seit einigen Jahren in Berlin wirklich abgenommen; auch ist bekannt, daß sich jedes Maximum nur langsam ändert.

§. 6. Außer dieser großen Bewegung findet noch eine sehr merkwürdige kleine tägliche Bewegung statt, die aber nur mit großen und sehr genauen Nadeln beobachtet werden kann. In den Vormittagsstunden rückt die Nadel ein klein wenig westlich fort, in der ganzen übrigen Zeit kehrt sie wieder mit einer kleinen östlichen Bewegung zurück. Graham entdeckte diese Bewegung 1722. Wargertin und Canton haben die Beobachtungen wiederholt und fortgesetzt. Der letztgenannte Naturforscher hat durch Versuche gezeigt, daß die Wärme einen Einfluß auf die magnetische Kraft hat, der genauer untersucht zu werden verdient.

Von der zweckmäßigsten Vorrichtung zur Beobachtung der täglichen Variationen nach Prony's Erfindung findet man Nachricht in Gilberts Ann. B. 26. S. 275. ff.

Über den Zusammenhang der Wärme mit der magnetischen Kraft sind neuerlich sehr merkwürdige Entdeckungen gemacht worden, von denen im folgenden Capitel einige Nachricht gegeben werden soll.

Die Inclinationsnadel.

§. 7. Ein auf beiden Seiten zugespitzter Streifen Stahl, der einige Zoll lang ist, wird genau in seinem Schwerpunkte durchbohrt, und eine kurze Achse in dem Loche befestigt, die sich in zwei äußerst feine cylindrische Spitzen endigt, welche auf sorgfältig polirten Unterlagen von Agat aufliegen. Die Nadel wird auf einem Gestell so befestigt, daß sie eine freie lothrechte Bewe-

Bayerische Staatsbibliothek München

gung um die Achse machen kann. Da sie sich um ihren Schwerpunkt dreht, so muß sie, ehe sie magnetisirt wird, in jeder Lage still stehen; wird sie aber magnetisirt, so wird das nördliche Ende derselben sehr tief herabsinken. Um ihre Neigung gegen den Horizont (Inclination) zu messen, muß ein genau eingetheilter Gradbogen an dem Gestell angebracht sein.

Die genaue Ausarbeitung einer solchen Nadel hat große Schwierigkeit, und ein gutes Inclinatorium gehört zu den Seltenheiten eines physikalischen Apparats.

Der Hauptgrund von der Schwierigkeit der Verfertigung liegt darin, daß die Kraft, wodurch die Nadel in die bestimmte Richtung der magnetischen Anziehung gegen den Horizont gezogen wird, äußerst schwach ist, und daher durch den allergeringsten Widerstand gestört werden kann. Der Schwerpunkt der Nadel sollte daher absolut in dem Centrum der Achse liegen; die Enden, mit welchen die Achse auf ihren Unterlagen ruht, sollten absolut cylindrisch sein; die Unterlagen, so wie die Achse selbst, sollten absolut nicht die allergeringste Unebenheit haben; die schwebende Nadel sollte absolut keine Beugung durch ihr Gewicht annehmen; ja es sollte zwischen der Achse und der Unterlage absolut keine Reibung statt finden. Lauter Bedingungen, die in absoluter Genauigkeit gar nicht zu erfüllen sind. Endlich muß auch der Gradbogen sehr genau getheilt, und gegen die Achse der Nadel centrirt sein.

Eine kurze Beschreibung eines sehr vorzüglichen Instruments dieser Art, von Le Noir, nach Borda's Angabe, findet man im Gilbert B. 4. S. 448. ff., womit Herr A. v. Humboldt seine vielen höhst schätzbaren Beobachtungen gemacht hat.

Hr. Hofr. und Prof. J. T. Mayer in Göttingen hat eine sehr sinnreiche Methode angegeben, mit einer absichtlich nicht centrirten Nadel, dennoch die Inclination sichrer, als durch die gewöhnlichen möglichst centrirten Nadeln zu finden; und die Versuche, welche ein vortrefflicher Beobachter, der Engl. Capitain Sabine, nach dieser Verfah-

Bayerische Staatsbibliothek München

rungsart in London gemacht hat, bestätigen die Güte derselben. Mayers eigene Untersuchungen findet man in den Comment. Soc. Gott. Classis math. Tom. 3. Einen ziemlich vollständigen Auszug nebst Abbildung der Nadel, giebt Gilbert B. 48. S. 229. ff., auch vergl. man B. 63. S. 1. ff. Sabine's Beobachtungen und Bemerkungen B. 76. S. 1. ff.

§. 8. Auch bei dem Gebrauch der Neigungs-Nadel hat man nicht nur mit den Mängeln des Instruments, sondern noch mit eigenen Schwierigkeiten der Beobachtung zu kämpfen. Das Instrument muß so gestellt werden, daß die Linie vom Centrum der Achse durch den untersten Theilpunkt des Gradbogens, bei allen Lagen, die man dem Instrumente geben mag, genau winkelrecht auf dem Horizont bleibt. Da man die Nadel, folglich auch den Halbmesser des Gradbogens, nie sehr lang nehmen, auch keinen Nonius anbringen kann, so hat eine genaue Beobachtung der Neigungs-Winkel große Schwierigkeit. Besonders aber muß man das Instrument bei der Beobachtung von allem Eisen, und magnetischen Materien weit entfernt halten. Ja man hat beobachtet, daß Versuche, die in einem Zimmer angestellt worden, fast niemals mit den im Freien gemachten übereinstimmen.

§. 9. Die Nadel zeigt die Neigung richtig an, wenn die Ebene ihre Bewegung in der magnetischen Meridian-Ebene liegt; dieses ist unmittelbar deutlich. Rückt man sie aber allmählig aus dieser Lage, indem man sie um eine verticale Linie dreht, so sinkt sie immer tiefer; steht die Bewegungsebene winkelrecht auf dem magnetischen Meridian, so steht die Nadel lothrecht. Fährt man fort zu drehen, so geht die Nadel in den andern

Quadranten des Gradbogens über, und steigt also wieder. Hat man das Instrument um 180 Grad gedreht, so muß sie wieder die richtige Inclination zeigen. Fährt man noch weiter fort zu drehen, so wiederholen sich alle diese Erscheinungen in umgekehrter Ordnung, bis die Nadel in ihre erste Stellung kommt.

Wenn bei einem wirklichen Versuche die hier beschriebenen Erscheinungen nicht in regelmäßiger Folge erscheinen, und wenn die Nadel nicht in jeden zwei Lagen, die um 180° verschieden sind, genau einerlei Neigung zeigt, so ist dieses allezeit ein Beweis von Fehlern in der Construction. Doch darf man nicht umgekehrt schließen, daß die Nadel fehlerfrei sei, wenn sich auf diese Art kein Fehler zeigt. Zu einer entscheidenden Prüfung würde erfoderlich sein: 1) daß die Nadel im magnetischen Meridian, und bei der Umdrehung um 180° genau einerlei Richtung zeige; 2) in beiden Stellungen, wo sie den magnetischen Meridian senkrecht schneidet, muß sie genau vertical stehen; 3) wenn man die Nadel abnimmt und durch Streichen mit einem Magnet ihre Pole umkehrt, muß sie wieder in den beiden bei Nr. 1. erwähnten oder vielmehr in allen Stellungen die Neigung wie vorher, angeben.

Daß die Nadel vertikal stehen muß, wenn die Bewegungs-Ebene den magnetischen Meridian winkelrecht schneidet, sieht man leicht ein, wenn man die in der wahren Inclinations-Richtung auf die Nordspitze wirkende Kraft, in eine horizontale, und in eine verticale zerlegt. Die näheren mathematischen Entwickelungen müssen dem folgenden Capitel vorbehalten bleiben.

§. 10. Wegen dieser Schwierigkeiten der Verfertigung und der Beobachtungen giebt es viel weniger sichre Beobachtungen über die Inclination, als über die Declination. Was sich aber mit Sicherheit aus den vorhandenen Beobachtungen ableiten läßt, ist folgendes.

Die Inclination ist an verschiedenen Orten noch verschiedener als die Declination. In Berlin war sie

im Jahr 1805 nach Hrn. A. v. Humboldt's Bestimmung 69° 53′. Entfernt man sich von da nördlich, so nimmt sie zu, und es hat sich die Vermuthung, daß es in Nordamerika etwa 16 bis 17 Grad vom Pole, und in 87 — 89° westlicher Länge von Ferro, eine Gegend gebe, wo die Nadel senkrecht steht, völlig bestätigt durch die Entdeckungsreise, welche die Engländer nach dem nördlichen Polarmeer gemacht haben.

Geht man von Berlin östlich oder westlich, so finden sich Örter, welche dieselbe Neigung haben. Verbindet man diese Örter durch eine Linie, so bildet sich ein nicht sehr regelmäßiger um die Erde herumlaufender Gürtel, den man einen magnetischen Parallelkreis oder Neigungskreis nennt.

Geht man südlich, so nimmt die Inclination ab; und zwischen den Wendekreisen findet sich ein um die ganze Erde laufender Gürtel, wo die Inclinationsnadel gar keine Neigung hat, also horizontal schwebt. Diesen Gürtel nennt man den magnetischen Äquator. Er ist aber kein Kreis, sondern ein unregelmäßiger Gürtel, welcher den geographischen Äquator in vier Punkten durchschneidet.

Jenseits dieses magnetischen Äquators neigt sich die Südspitze der Nadel gegen den Horizont, desto stärker, je weiter man südlich fortgeht; und östlich unter Neu-Seeland, ungefähr in einer Entfernung von 35 bis 40 Grad vom Südpol ist im stillen Meer wieder eine Gegend, wo die Nadel gegen den Horizont winkelrecht steht, und zwar mit der Südspitze abwärts.

Wie man Declinations-Charten hat (§. 4.), eben so hat man versucht Inclinations-Charten zu zeichnen, auf welchen die magnetischen Parallelkreise etwa von 10 zu 10 Grad

dargestellt sind. Der erste, welcher dieses versuchte, war der treffliche schwedische Naturforscher Wilke. Man findet seine Charte in den Abhandlungen der schwedischen Academie; in der deutschen Übersetzung B. 30. S. 229. Eine viel genauere Charte, als Wilke geben konnte, verdankt man dem Fleiße des Herrn Prof. Hansteen in Christiania in Norwegen, in seinen Untersuchungen über den Magnetismus der Erde. Eine Copie derselben findet man in Gilbert B. 71. S. 273. ff. 291. ff.

Über die Lage des magnetischen Äquators sehe man Gilbert B. 70. S. 1. ff. 23. ff.

§. 11. Da die Inclinationen von keiner andern Kraft herrühren können als die Declinationen, diese sich aber mit der Zeit an demselben Orte verändern, so ist nicht zu zweifeln, daß auch die Neigungen veränderlich sind. Doch scheinen die bisherigen Beobachtungen auf eine viel geringere Veränderlichkeit zu deuten. Sollte die oben (§. 5.) angedeutete Vorstellung von einem westlichen Fortrücken der Declinations-Linien Grund haben, und sich auch auf die magnetischen Parallelkreise anwenden lassen, so würde man, mit Hülfe einer Inclinations-Charte, die zu erwartenden Veränderungen mit einiger Wahrscheinlichkeit bestimmen können. Die Neuheit, die Unvollständigkeit, und die Unsicherheit aller Inclinations-Beobachtungen, wird indessen wahrscheinlich noch lange jedes Urtheil über diese Veränderungen sehr unsicher machen.

Dreiundvierzigstes Capitel.

Magnetismus der Erdkugel, nebst allgemeinen Erörterungen über die Stärke der magnetischen Kraft, und deren Zusammenhang mit Elektricität und Wärme.

Magnetismus der Erdkugel.

§. 1. Die Erscheinungen, welche beide Nadeln, besonders die Neigungs-Nadeln zeigen, berechtigen oder nöthigen uns vielmehr, die ganze Erdkugel selbst als einen großen aber verhältnißmäßig nur schwachen Magnet zu betrachten, indem sie auf beide Nadeln gerade so wirkt, wie ein Magnet auf den andern. In dem größten Theile der nördlichen Halbkugel wird die Nordspitze der Nadel angezogen, und die Südspitze abgestoßen; in dem größten Theile der südlichen Halbkugel ist es umgekehrt. Und aus den im vorigen Capitel (§. 10.) angegebenen Erscheinungen der Inclinations-Nadeln ergeben sich sogar zwei ziemlich bestimmte Stellen auf der Erdkugel, welche wie Pole eines Magnets auf die Nadeln wirken. Es ist aber klar, daß man den in Nord-Amerika liegenden, einen magnetischen Südpol, den unter Australien liegenden einen magnetischen Nordpol nennen müsse.

Einige Naturforscher finden diese Art, die magnetischen Pole der Erde zu benennen, unschicklich, und verlangen, daß wir die Nordspitze der Nadel künftig einen Südpol, und die Südspitze einen Nordpol nennen sollen. Es ist aber diese Benennungsart nicht nur innerlich eben so unschicklich als die hier angegebene, sondern es läßt sich auch sicher voraussehen, daß durch eine solche Veränderung des Sprachgebrauchs unvermeidlich viel Verwirrung entstehen

würde. Die Pole der Nadel kennt Jedermann, und für den Schiffer ist der bestimmte Sprachgebrauch, an welchen er seit Jahrhunderten gewöhnt ist, von der größten Wichtigkeit. Von den magnetischen Polen der Erdkugel ist dagegen nur in Büchern die Rede, und der Gelehrte, der sie liest, wird durch die Theorie selbst bestimmt, die Pole so zu benennen, wie es im §. geschehen ist.

Will man sich die magnetische Kraft der Erde recht anschaulich machen, so zeichne man auf einer wagerechten Ebene einen etwas großen Kreis, und lege in dessen Mitte ein kleines Magnetstäbchen, mit dem Südpol gegen Norden gerichtet. Dann führe man eine kleine Magnetnadel auf der Peripherie dieses Kreises herum, so begreift man leicht, daß sich diese Nadel gegen den Kreis ungefähr in derselben Lage befindet, als eine Inclinations-Nadel gegen die Erdkugel.

§. 2. Es ist weder nöthig noch natürlich, noch den Erscheinungen gemäß, anzunehmen, daß sich in der Mitte der Erdkugel wirklich ein bestimmt begränzter Magnet befinde, der den Magnetismus der Erdkugel hervorbringe. Noch abentheuerlicher ist die Vorstellung, daß derselbe eine eigene von der Achsendrehung der Erde verschiedene, und von Osten nach Westen gehende Bewegung habe, um dadurch das Fortrücken der magnetischen Abweichungs- und Neigungs-Linien zu erklären.

So weit wir den Bau unseres Erdkörpers kennen, besteht derselbe aus einer wenig regelmäßigen Zusammenhäufung ungleichartiger Massen, welche nur durch die allen Körpern gemeinsame Schwere genöthigt sind im Ganzen Kugelgestalt anzunehmen. Unter diesen Massen finden sich selbst auf der Oberfläche nicht selten sehr große Massen von Eisenstein, auch Berge von Basalt, oder Serpentinstein, welche eine bedeutende Wirkung auf die Magnet-Nadel, wahrscheinlich durch einen Gehalt

von oxydirtem Eisen, hervorbringen. Was ist natürlicher, als anzunehmen, daß sich auch im Innern der Erde zerstreute magnetische Massen befinden, deren magnetische Achsen und Pole von einer gemeinsamen Ursache abhängend, eine ungefähr parallele Lage haben. Diese sämmtlichen Massen müssen an jedem Punkte der Oberfläche, durch ihre vereinigten Wirkungen, eine ganz bestimmte Anziehung und Abstoßung auf die Pole einer Magnet-Nadel hervorbringen. Die große Unregelmäßigkeit in der Gestalt der magnetischen Abweichungs- und Neigungs-Linien, welche immer sichtbarer wird, je vollkommner die Werkzeuge und Beobachtungsarten werden, scheint diese Vorstellung sogar als nothwendig zu fodern. Ja wenn nach Coulombs Beobachtungen, die magnetische Kraft nicht bloß einigen Metallen angehört, sondern auch allen übrigen Körpern, wenn auch in einem sehr geringen Maße eigenthümlich ist, so ist klar, daß die vereinigte Wirkung aller Massen, woraus die Erdkugel besteht, an jedem Orte ganz bestimmte magnetische Erscheinungen hervorbringen müsse.

Daß sich dennoch im Ganzen eine gewisse (wenn auch im Einzelnen gestörte) Regelmäßigkeit der Erscheinungen zeigt, kann daher rühren, daß sich in der That in der Mitte der Erdkugel eine und die andere magnetische Masse von überwiegender Kraft befinde.

L. Euler (in den Memoiren der Berl. Acad. von 1757.) und andere haben versucht, die magnetischen Abweichungen und Neigungen aus der Annahme einer einzigen magnetischen Achse zu erklären; aber die aus dieser Hypothese abgeleiteten Formeln stimmen nirgend mit den Erfahrungen hinlänglich zusammen. Einen sehr gründlich ausgeführten neueren Versuch dieser Art, von Hrn. Prof. Mollweide, findet man in Gilbert, B. 29. S. 1. ff. An-

dere, besonders Hansteen, in seinen Untersuchungen über den Magnetismus der Erdkugel, nehmen, wie früher schon Tob. Mayer, zwei Achsen an, wodurch allerdings die Formeln mit den Beobachtungen näher zusammentreffen; aber diese beiden Achsen leiden sichtbar an sehr vielen Orten (vielleicht überall), örtliche Störungen, welche wenig Hoffnung lassen, daß es möglich sein dürfte, Theorie und Erfahrung in vollkommne Übereinstimmung zu bringen. Die Untersuchungen haben aber gezeigt, daß man weder bei der Hypothese von einer, noch von zwei Achsen, die Pole derselben auf der Oberfläche der Erde annehmen, sondern sie ziemlich nahe an den Mittelpunkt setzen müsse, wenn zwischen Theorie und Erfahrung einige Übereinstimmung statt finden soll.

§. 3. Was die Veränderungen der Abweichung und Neigung betrifft, so ist es offenbar gar nicht nöthig, ein fabelhaftes Drehen der magnetischen Massen selbst, sondern nur ein Fortrücken ihrer Pole, bei ungeänderter Lage der Massen anzunehmen. Unwidersprechlich sind die Pole eines Magnetes gar nicht an bestimmte Stellen des Körpers gebunden. Man kann sie durch zweckmäßiges Streichen bringen, wohin man will, und selbst umkehren. Eine allmählige Veränderung ihrer Lage durch gleichförmig wirkende Kräfte, ist daher sehr natürlich. Und der schon von Canton (1722) bemerkte, und durch neuere Beobachtungen näher bestimmte Zusammenhang der Wärme mit der magnetischen Kraft scheint sehr natürlich die Hypothese zu begründen, daß die stets von Osten nach Westen fortschreitende Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonne wohl ein langsames Fortrücken der magnetischen Pole in eben der Richtung bewirken könne.

§. 4. Zu den augenfälligsten Beweisen vom Magnetismus der Erdkugel gehört noch die Erfahrung, daß

unmagnetische Eisenstäbe von selbst magnetisch werden, wenn sie längere Zeit der freien Luft ausgesetzt sind, besonders in lothrechter Richtung, oder noch besser in der Richtung der magnetischen Inclination. Man pflegt dies den ursprünglichen Magnetismus zu nennen. Man sieht leicht, daß diese Erscheinungen auf einen um die Erde vorhandenen Wirkungskreis (XLI. 14.) deuten.

Es kann aber die Erregung des Magnetismus durch allerlei Mittel, durch Klopfen, Streichen, Reiben, und dergl. m. befördert werden; besonders wenn man den eisernen Stab eine Zeit lang in der Richtung der magnetischen Neigung stehen läßt. Sogar alle Instrumente von Eisen und Stahl die zum Feilen, Bohren, Schneiden, Sägen, Schlagen u. s. w. gebraucht werden, bekommen mit der Zeit von selbst magnetische Pole.

Sehr lehrreiche Beobachtungen von W. Scoresby dem jüngeren über Erregung des ursprünglichen Magnetismus findet man in Gilbert B. 68. S. 260. ff.

Über die Stärke der magnetischen Kräfte.

§. 5. Außer der Abweichung und Neigung der Nadeln hat man in neueren Zeiten auch angefangen die Stärke der magnetischen Kräfte an vielen Orten der Erdkugel zu beobachten. Diese Untersuchung beruhet auf folgende Betrachtungen.

Wenn man die Inclinations- oder Declinations-Nadel ein wenig aus der Lage des Gleichgewichts herausbringt, und dann frei läßt, so fängt sie an nach Art eines Pendels gleichzeitig hin und her zu schwingen. Und man begreift auch ohne tiefere mathematische Untersuchungen, daß die Anzahl der Schwingungen, welche sie in einem bestimmten Zeitraume z. B. in 10 Minu-

ten macht, um desto größer sein wird, je stärker die Kraft ist, mit welcher sie in die Richtung des Gleichgewichtes gezogen wird.

Es läßt sich aber ohne Schwierigkeit beweisen, einmal, daß diese Schwingungen vollkommen unter den Gesetzen des Pendels stehen, und dann, daß sich die magnetischen Kräfte von zwei Orten gegen einander verhalten, wie die Quadratzahlen von der Anzahl der Schwingungen, welche dieselbe Nadel in gleichen Zeiten macht.

Eine Inclinations-Nadel zeigt in kleinen Entfernungen (wofern nicht die Nähe von Eisen örtliche Störungen macht) gleiche Neigung und gleichzeitige Schwingungen. Hieraus folgt, daß die Richtung und Stärke der magnetischen Kraft, mit welchen die Erde und die Nadel auf einander wirken, in kleinen Entfernungen gleich sind; so wie auch in kurzen Zeiträumen an demselben Orte keine bemerkbare Veränderungen in der Stärke der magnetischen Kraft vorgehen. Folglich muß die magnetische Kraft, unter den gemachten Voraussetzungen, gerade wie die Schwere, als eine gleichförmig beschleunigende Kraft wirken; und daher müssen die Schwingungen der Nadel, unter denselben Gesetzen als die Pendel-Schwingungen stehen.

Die Grundformel für die Pendel-Schwingungen ist nach (XIV. §. 9.): $t = \pi \sqrt{\frac{l}{2g}}$, wo t die Dauer einer Schwingung, l die Länge des Pendels, π die Ludolfische Zahl, und g die Beschleunigung der Schwere war. Wendet man diese Formel auf die Schwingungen einer Magnetnadel an, so kann man zwar unter l weder die ganze noch halbe Länge der Nadel verstehen. Braucht man aber dieselbe Nadel an verschiedenen Orten, so ist es hinreichend zu wissen, daß der Werth von l in allen Fällen derselbe sei. Es steht aber die Anzahl der Schwingungen, welche in einer bestimmten Zeit gemacht werden, im umgekehrten Verhältniß mit der Dauer einer Schwingung. Nennt man also die Anzahl der Schwingungen, die in einer bestimmten Zeit gemacht werden, n, so ist diese der Formel $\frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{2g}{l}}$ proportional.

Nun setze man statt g erst m, dann M, stelle sich unter m die magnetische Kraft an einem Orte, unter M dieselbe an einem andern Orte vor, unter n und N aber die Anzahl der Schwingungen, welche dieselbe Nadel in einer bestimmten Zeit (etwa in 10 Minuten), an beiden Orten macht, so verhält sich

$$n : N = \frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{2m}{l}} : \frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{2M}{l}} = \sqrt{m} : \sqrt{M};$$

oder $n^2 : N^2 = m : M$.

Versuche dieser Art haben aber ihre eigenen sehr großen Schwierigkeiten. Die Kraft, welche die Nadel in die Richtung der Neigung treibt, hängt nicht bloß von der Kraft der Erdkugel, sondern auch von der Kraft der Nadel ab, und diese sowohl als die Kraft der Erdkugel ist veränderlich; und daß sie an beiden Orten unverändert geblieben sei, davon kann man sich nur überzeugen, wenn man an den ersten Ort zurückkehrt, und den Versuch wiederholt. Doch muß eine gut bereitete und sorgfältig verwahrte Nadel ihre Kraft Jahre lang ohne merkliche Veränderung behalten, auch erfolgen die Veränderungen des Magnetismus der Erde nur sehr langsam. Es ist ferner schwierig eine Inclinations-Nadel so vorzurichten, daß sie hinlänglich lange schwingt, ehe sie in Ruhe kommt. Leichter ist dieses zu erhalten bei einer Declinations-Nadel oder bei einem magnetischen Stabe, den man (nach LXII. 2.) an einem einfachen seidenenen Faden aufhängt, und mit einem gläsernen Gehäuse bedeckt. Aber man begreift leicht, daß die Declinations-Nadel anders als die Inclinations-Nadel schwingt, und wir müssen daher zeigen, wie aus der Anzahl der Schwingungen, die eine Declinations-Nadel macht, die Anzahl derer durch Rechnung gefunden werden könne, welche dieselbe Nadel als Inclinations-Nadel an diesem Orte machen würde.

Es sei AB Fig. 80. ein horizontaler in C aufgehängter Magnetstab in dem magnetischen Meridian. Sein Nordpol sei in A, und die Linie AD stelle die Richtung und Größe der Kraft vor, mit welcher der Pol gegen die Erde gezogen wird; wir wollen diese Kraft M nennen. Zieht man aus A die Linie AE horizontal, und AF vertical, und vollendet das Rechteck EF, so ist die Kraft AD = M zerfäl-

let in die horizontale AE = H und in die verticale AF = V. Diese letzte wird durch die etwas größere Schwere des Armes CB außer Thätigkeit gesetzt. Die Schwingungen des Stabes hängen also lediglich von der Kraft AE = H ab. Ferner ist der Winkel EAD = I die Inclination der Nadel an dem Orte der Beobachtung, die als anderweitig bekannt voraus gesetzt wird. Nun verhält sich

$$AE : AD = H : M = \text{Cos } I : 1.$$

Nennt man nun die Anzahl der horizontalen Schwingungen in einer bestimmten Zeit n, und die Anzahl derer, die sie als Inclinations-Nadel vermöge der Kraft M machen würde, N; so hat man, nach dem, was oben gezeigt worden,

$$\text{Cos } I : 1 = n^2 : N^2,$$

woraus N leicht zu berechnen ist.

Das Verhältniß von AE : AF oder AE : ED ist H : V = 1 : Tang I. Hierauf hat La Place eine eigene Methode gegründet, die Inclination durch bloße Schwingungen zu finden. Wenn man eine gut centrirte Inclinations-Nadel so stellt, daß die Bewegungsebene den magnetischen Meridian winkelrecht schneidet, also die Nadel vertical steht, so wird sie bloß durch die Kraft V getrieben, H aber außer Thätigkeit gesetzt. Man zähle nun, wie viele Schwingungen sie sie in einer bestimmten Zeit macht. Die Anzahl heiße P. Bringt man dann die Nadel in den magnetischen Meridian, und legt ein sehr kleines Gewicht auf den südlichen Arm, so daß sie horizontal schwebt, und zählt wieder, wie viele Schwingungen sie in eben der Zeit macht, deren Anzahl Q heiße, so muß sich nach dem oben vorgetragenen

$$Q^2 : P^2 = 1 : \text{Tang I}$$

verhalten. Also ist $\text{Tang I} = \left(\frac{P}{Q}\right)^2$. Genauigkeit ist indeß von dieser Methode schwerlich zu erwarten.

Endlich bemerke man noch, daß die Zerfällung der Kraft M in $H = M . \text{Cos I}$, und $V = M . \text{Sin I}$ in allen erdenklichen Fällen statt finde, die Nadel befinde sich, in welcher Lage man irgend will.

§. 6. Hr. A. v. Humboldt, dessen große Reisen für die Wissenschaften so fruchtbar geworden sind, hat eine ungemein große Menge von Beobachtungen über

die Neigung und Stärke der magnetischen Kraft in sehr vielen Örtern von Süd-Amerika, Europa und auf dem Meere angestellt. Ein merkwürdiges neues Resultat dieser Beobachtungen ist, daß die magnetische Kraft unter dem magnetischen Äquator am stärksten ist, und daß sie von da aus nach Süd und Nord ununterbrochen abnimmt.

Aber aus eben diesen Beobachtungen geht auch hervor, daß die Stärke dieser Kraft weit mehr örtlichen Störungen als die Neigung unterworfen ist; wodurch die oben (§. 2.) aufgestellte Vorstellung vom Magnetismus der Erdkugel eine schwerlich zu bestreitende Bestätigung erhält.

Daß nicht die Stärke, sondern nur die Richtung der magnetischen Kraft auf die Inclination Einfluß habe, ist leicht einzusehen.

Neuere Entdeckungen im Gebiete des Magnetismus.

§. 7. Der schon längst mehr vermuthete als deutlich erkannte Zusammenhang des Magnetismus, mit der Elektricität und mit der Wärme, ist seit wenigen Jahren durch höhst merkwürdige Entdeckungen nicht nur außer allen Zweifel gesetzt worden, sondern man hat auch einige Hauptgesetze desselben bestimmt aufgefunden. Indessen sind die Beobachtungen und Untersuchungen noch nicht zu einem solchen Grade der Reife gediehen, daß sich in einem Lehrbuche eine vollständige Übersicht derselben geben ließe. Wir müssen uns daher nur auf die wichtigsten und unzweideutigsten Ergebnisse beschränken, werden aber nicht unterlassen, die Quellen nachzuweisen, aus welchen vollständigere Belehrung zu schöpfen ist.

Erregung des Magnetismus durch galvanische Elektricität.

§. 8. In Fig. 81. sei ZI eine Zinkplatte, KU eine Kupferplatte (welche oben liegt ist gleichgültig). Zwischen ihnen befinde sich eine mit stark verdünnten Säure (etwa Salzsäure) getränkte Pappenscheibe. Beide Metallplatten verbinde ein Leitungsdraht abcde, der bei a an Zink, bei e an Kupfer befestigt, übrigens nach der in der Figur angedeuteten Gestalt gebogen ist. Diese einfache Geräthschaft stelle man so, daß die horizontalen Theile des Drahtes (bc und ed) in der Richtung des magnetischen Meridians liegen. Der Kupferpol e sei nach Norden, also der Zinkpol a nach Süden gerichtet. Nähert man bei dieser Stellung der Geräthschaft eine Magnetnadel dem Leitungsdrahte, so zeigen sich folgende merkwürdige Erscheinungen.

1. Bringt man die Nadel in die Nähe des Drahtes bc, und zwar zuerst von oben (etwa bei F), so weicht die Nadel sogleich westlich ab, desto stärker, je stärker die chemische Thätigkeit zwischen den Metallplatten ist. Die Elektricität wirkt also hier auf die Nadel gerade so, als würde der Nordspitze ein Nordpol von Osten her, oder der Südspitze ein Südpol von der Westseite her entgegenhalten. Stellt man die Nadel neben den Draht auf der Westseite, so wird ihre Nordspitze ein wenig niedergedrückt, als wirkte von oben her ein Nordpol auf sie. Stellt man die Nadel unter den Draht in H, so weicht sie östlich ab, und neben dem Draht auf der Ostseite wird die Nordspitze ein wenig gehoben.

Zu mehrerer Anschaulichkeit sei der kleine Kreis bei A Fig. 82. ein senkrechter Durchschnitt des Leitungsdrahtes, den der

Beobachter von der Nordseite (der Fig. 81.) betrachtet, so daß er zur Rechten West, zur Linken Ost hat. In der erweiterten Ebene des Durchschnitts (Fig. 82.) sei ein Kreis BCDE gezeichnet, und in der Peripherie desselben befinde sich die Nordspitze einer Nadel, so zeigen die bei B, C, D, E gezeichneten Pfeilspitzen n, nach welcher Richtung die Nordspitze in jeder Stelle getrieben wird.

Will man sich diese Wirkungen durch ein Bild noch anschaulicher machen, so stelle man sich vor, daß der Draht von einem Wirbel magnetischer Nordkraft in der Richtung BCDE umkreiset werde. So fern man aber alle magnetischen Wirkungen als von zwei entgegengesetzten Kräften herrührend betrachtet, wird man genöthigt sein, sich vorzustellen, daß zugleich eine magnetische Südkraft den Draht in der entgegengesetzten Richtung BEDC umwirbele, und daß also in jedem Punkte z. B. in B zugleich beide magnetische Kräfte wirksam sein, eine Nordkraft in der Richtung Bn, die andere in der Richtung Bs.

Durch Betrachtungen dieser Art sind neuerlich die Wirbel bei der Theorie des Magnetismus wieder in Anregung gekommen. Besonders hat ein sinnreicher französischer Naturforscher Hr. Ampère eine solche Idee mit großem Scharfsinn durchzuführen gesucht. (M. s. Gilbert's Ann. B. 67, 69, 71, 72.) Ob sich in der That wirbelnde magnetische Materie um den Draht befindet, oder ob nur in jedem Punkte um denselben Kräfte wirksam sind, welche die Spitze der Magnetnadel in der Richtung eines solchen Wirbels bewegen? dieses sind Fragen, die vielleicht nie zur Entscheidung kommen können. Auch hier wird es nur darauf ankommen, die Gesetze der Erscheinungen mit mathematischer Bestimmtheit auszumitteln. Doch wird die Idee von Wirbeln als Bild und Veranschaulichungs-Mittel immer ihren Werth behalten.

So wie man sich aber die magnetische Kraft unter dem Bilde eines wirbelnden Stromes versinnlichen kann, eben so die elektrische Kraft unter dem Bilde eines geraden Stromes. Es ist aber völlig hinreichend, sich bloß auf die magnetische Nordkraft, und auf Glas-Elektricität zu beschränken, weil die Berücksichtigung der entgegengesetzten Kräfte die Vorstellung ohne Nutzen verwickel-

ter macht. Nach dieser Vorstellungsart kann man sagen, daß in dem Drahte bc, Fig. 81., die + E von c nach b ströme, die magnetische Nordkraft (+ M) aber, über dem Drahte von Osten nach Westen wirbele. Die Richtung beider Kräfte ist dann in jedem Augenblicke winkelrecht auf einander.

2. Wiederholt man die Versuche an dem unteren horizontalen Ende ed des Drahtes (etwa bei L und G), so sind alle Ablenkungen der Nadel entgegengesetzt. Woraus folgt, daß es hiebei nicht eigentlich auf Oben und Unten, sondern vielmehr auf Innen und Außen ankomme.

Diese Bemerkung hat die Idee eines Condensators der magnetischen Kraft des Leitungsdrahtes veranlaßt, worüber das Nähere in Gilberts Ann. B. 67. S. 422. ff. nachzusehen ist.

3. Wendet man die Geräthschaft so um, daß der Draht zwar in dem magnetischen Meridian, der Zinkpol aber nach Norden zu liegen kommt, so kehren sich alle Ablenkungen der Magnetnadel in das Entgegengesetzte um.

Hieraus folgt, daß der Magnetismus der Erdkugel keinen merklichen Einfluß auf die Erscheinungen habe, wenn sich der Leitungsdraht in dem magnetischen Meridian befindet.

4. Giebt man dem Leitungsdrahte eine solche Lage, daß er einen beliebigen Winkel mit dem magnetischen Meridiane macht, so fallen die Erscheinungen verschieden aus, je nachdem die chemische Wirkung stark oder schwach ist: denn davon hängt die Stärke der magnetischen Kraft des Leitungsdrahtes ab. Ist diese magnetische Kraft weit stärker als der Magnetismus der Erdkugel, so ändert die abweichende Nadel ihre Lage gegen den Draht wenig. Ist sie aber schwach, so kann die magnetische

Kraft der Erde Abweichungen verursachen. Da es uns aber noch an einem sicheren Maße fehlt, sowohl für die Kraft des Drahtes, als die der Erde, so läßt sich der Erfolg zwar nicht leicht voraus bestimmen, aber wohl, wenn er beobachtet ist, erklären.

Anm. 1. Statt des Leitungsdrahtes abcde (Fig. 81.) kann man einen dünnen aber etwas breiten Streifen von Kupfer mit manchen Bequemlichkeiten brauchen.

2. Diese Versuche lehren uns eine ganz neue vorher nie beobachtete Art von bewegenden Kräften kennen. Wenn sich in A Fig. 82. ein Körper befindet, so kennen wir wohl Anziehungs- und Abstoßungs-Kräfte, die in der Richtung AB hin- oder herwärts wirken; aber Kräfte, die in jedem Punkte B bloß in der Richtung einer Tangente wirken, waren bisher völlig unbekannt.

3. Von der Geschichte dieser Entdeckungen bemerken wir nur folgendes. Dem Professor der Physik in Copenhagen Hrn. Örstedt gebührt der Ruhm der ersten Entdeckung. Er machte sie im Jahre 1820 an einer sehr starken Voltaischen Batterie. Die Versuche wurden bald von den berühmtesten Physikern wiederholt. Man vereinfachte, erweiterte und vervielfältigte dieselben; auch fanden mehrere, so wie der Entdecker selbst, daß man zur Hervorbringung der Erscheinungen nur eines einzigen Platten-Paares von etwa 12 bis 16 Quadrat-Zoll Fläche bedürfe. Gilbert hat in seinen Annalen ziemlich vollständig die Arbeiten der berühmtesten Physiker geliefert. Es giebt wenige Physiker von Ruf, die nicht an diesen Arbeiten Theil genommen, und für die Wissenschaft reiche Ausbeute gewonnen hätten. Man findet das Wichtigste in dem 66sten und den folgenden Bänden der Annalen. Auch die Schriften der Berliner Academie, vom Jahre 1820 an, enthalten viele wichtige Untersuchungen besonders von Seebeck und Erman.

§. 9. Noch müssen wir bemerken, daß man durch die Elektricität des Leitungsdrahtes einer kleiner Stahl-Nadel bleibenden Magnetismus mittheilen kann. Man muß sie quer über den Draht legen, und sie dann ent-

weder in der Richtung BCDE (Fig. 82.), oder in der entgegengesetzten um den Draht herumführen. Die erste dieser Richtungen ist die der magnetischen Nordkraft (+ M), und die Spitze der Nadel, welche den Draht zuletzt berührt hat, erhält, wie bei allen Mittheilungen und Vertheilungen des Magnetismus, die entgegengesetzte Süd-Polarität (— M).

Versuche dieser Art setzen es außer allem Zweifel, daß die im Leitungsdrahte thätige Kraft eine wahre magnetische ist, und daß in dieser Art alle Metalle des Magnetismus empfänglich sind, weil der Draht von jedem Metalle sein kann. Indessen erfodert dieser Versuch eine sehr lebhafte Elektricität, und einen etwas starken Stab, statt des Leitungsdrahtes.

Erregung des Magnetismus durch die gemeine Elektricität.

§. 10. Um zwei Stücke einer Barometerröhre AB Fig. 83. u. 84., die zwei bis drei Zoll lang sein mögen, winde man dünnen Draht (Clavierſaiten) schraubenförmig, bei der einen Röhre rechts, bei der andern links. Die Enden des Drahtes lasse man an beiden Seiten einige Zoll überstehen. In jede Röhre lege man ein ungefähr eben so langes unmagnetisches Stück Draht von Eisen oder Stahl, und gebe ihm (etwa durch umgewickeltes Papier) nur so viel Festigkeit, daß es nicht herausfällt, so ist die Geräthschaft zu dem Versuche fertig.

Hält man nun das eine Ende G des schraubenförmig gewundenen Drahtes gegen den Conductor der Maschine, indem am andern Ende C eine Ableitung angebracht ist, oder entladet man vermittelst eines solchen Drahtes eine Flasche, so wird die in der Röhre liegende

Nadel in jedem Falle magnetisch, und die Pole lassen sich voraus bestimmen. Ist nämlich die bei G einströmende Elektricität + E, der Draht aber so gewunden, wie Fig. 83., nämlich, wie gewöhnlich alle Schrauben gewunden sind, so wird s ein Südpol, ist dagegen der Draht entgegengesetzt gewunden, wie Fig. 84., so entsteht auf der Seite, wo die Elektricität einströmt, ein Nordpol n. Läßt man dagegen bei G Harz-Elektricität einströmen, so haben die Pole in beiden Fällen entgegengesetzte Lage.

Eben den Erfolg kann man mit derselben Geräthschaft durch den Galvanismus erhalten, wenn man den Draht GC zum Leitungsdraht zwischen dem Zink- und Kupferpole macht. Ein neuer Beweis, daß Elektricität und Galvanismus dieselbe Sache sind.

Im 9ten §. konnte die magnetische Kraft als ein Wirbel, die Elektricität als ein gerader Strom angesehen werden. Im 10ten wird umgekehrt die Elektricität wirbelnd um die Glasröhre geführt, und die gerade Nadel wird dadurch magnetisch und zwar entgegengesetzt, je nachdem die Elektricität nach der rechten oder linken Seite wirbelt. Überhaupt sind die Gesetze, unter welchen die Erscheinungen in beiden Fällen stehen, gar nicht wesentlich verschieden.

Erregung des Magnetismus durch Wärme.

§. 11. Es sei PQ Fig. 85. ein Stab von Wismuth (etwa 6 bis 8 Zoll lang, und im Durchschnitt $\frac{1}{4}$ Quadratzoll). An seine beiden Enden sei ein Draht abcde, oder ein Streifen von dünnem Kupfer gerade so, wie der Leitungsdraht Fig. 81., befestigt. Man setze diese Geräthschaft so, daß der Draht bc die Richtung des magnetischen Meridians hat. Erhitzt man nun den Stab PQ an dem nach Norden liegenden Ende P, so zeigt der Draht bc genau dieselbe Kraft, den Ma-

gnetismus zu erregen als §. 8.; nämlich eine Magnetnadel über bc weicht westlich, unter bc östlich ab; u. s. f. Und diese Wirkung dauert fort, so lange eine merklich verschiedene Temperatur in der Geräthschaft ist. Erhitzt man die Wismuthstange am südlichen Ende, so werden alle Ablenkungen der Magnetnadel entgegengesetzt.

Nimmt man statt Wismuth eine eben solche Stange von Antimon (Spießglanz-Metall), so erhält man in jedem Falle genau die entgegengesetzten Erscheinungen.

Wismuth und Antimon sind nicht die einzigen Metalle, die in Verbindung mit einer Leitung von Kupfer oder Messing diese Wirkungen hervorbringen. Wismuth und Zink zeigen diese Wirkungen nur auffallender, als alle übrigen Metalle.

Diese sehr merkwürdige Entdeckung verdankt die Wissenschaft dem Beobachtungsgeiste des Hrn. Academikers Dr. Seebeck. Die lehrreiche Reihe von Versuchen, die er angestellt hat, sehe man in den Schriften der Berliner Academie von 1822. und von 1823.

Außer Hrn. Seebeck haben sich noch mehrere andere Naturforscher, besonders der Hr. Academiker Yelin in München, mit den Versuchen über den Einfluß der Wärme auf den Magnetismus beschäftigt, und die Wissenschaft mit vielen schätzbaren Beobachtungen bereichert. Der 72ste Band der Gilbertschen Annalen, ist beinahe ganz mit Nachrichten von den Versuchen der beiden genannten Naturforscher angefüllt.

Es sind aber die Versuche über den Einfluß der Wärme auf den Magnetismus noch nicht in dem Umfange wiederholt, und weiter geführt worden, als über den Einfluß der Elektricität. Vielleicht deswegen, weil die meisten Naturforscher, wegen der vollkommnen Ähnlichkeit des Erfolges, in den Seebeckischen Versuchen, nur eine Modification des Örstedtischen Versuchs zu sehen scheinen; nämlich eine neue Art, Elektricität durch Wärme zu erregen.

Indessen sollte man auf diesen Schluß nicht zu viel Gewicht legen. Denn so gewiß es auch ist, daß Wärme und Elektricität gegenseitig auf einander wirken, so sind doch die Gesetze ihres Zusammenhanges noch sehr dunkel. Was sich in den Seebeckischen Versuchen unmittelbar ausspricht, ist eine Erregung des Magnetismus durch Aufhebung des Gleichgewichts der Temperatur (nicht durch Elektricität) in einer kreisartigen metallischen Verbindung. Wenigstens ist dem Verfasser kein Versuch bekannt, welcher die Elektricität als wirkende Ursache in den Seebekischen Versuchen unzweideutig darlegte. In so fern man aber wohl sagen kann, daß die Wärme eine noch wichtigere Naturkraft ist, als die Elektricität, dürfte es noch wichtiger sein, den Einfluß der Wärme, als der Elektricität, auf den Magnetismus aufs genaueste zu untersuchen.

§. 12. Höhst merkwürdig ist allerdings der Zusammenhang, in welchem Wärme, Elektricität und Magnetismus gegenseitig stehen. Denkbar ist es allerdings, daß sie bloß modificirte Wirkungen einer und derselben Grundkraft sein; indessen berechtigen alle bisherigen Beobachtungen noch nicht, diese Einerleiheit als entschieden zu betrachten, und zu frühes Identificiren ähnlicher Wirkungen kann leicht zu grundlosen Phantasiespielen verleiten. Es ist daher sehr zu wünschen, daß die Naturforscher fortfahren mögen, die Gesetze jeder Art von Erscheinungen mit mathematischem Geiste zu untersuchen, und mit philosophischem zu ordnen.

Zum Beschluß dieses Abschnittes fügen wir noch einige literarische Nachweisungen hinzu.

Von älteren Schriften über den Magnetismus haben folgende auch jetzt noch ihren Werth: Musschenbroeckii Dissertationes physicae Lugd. Bat. 1729, worin sich eine Diss. de Magnete befindet. Bruggmanns Beob. über die Verwandschaft des Magnets, a. d. Lat. übers. von Eschenbach. Leipz. 1781. Desselben Philos. Ver-

suche über die magnet. Mater. a. d. Lat. übers. von Eschenbach. Leipz. 1784. Cavallo's Abhandl. vom Magnetismus, a. d. Engl. Leipz. 1788.

Über die neueren Entdeckungen geben Gilberts Annalen ziemlich vollständige Nachrichten. Vom 66sten Bande an enthält fast jeder Band mehreres hieher gehörige. Auch sind die Schriften der Berliner Akademie vom Jahre 1820 an nachzusehen; desgleichen die französischen und englischen Journale von diesem Jahre an.

Um die Theorie des Magnetismus hat sich Biot ausgezeichnete Verdienste erworben, indem er in seinem Essai de Physique exp. et math. die Gesetze der magnetischen Erscheinungen sehr scharfsinnig durch Formeln darzustellen versucht hat.

Achter Abschnitt.

Vom Lichte.

Vierundvierzigstes Capitel.

Von dem Lichte überhaupt, besonders von den Erscheinungen, die von der geradlinigen Bewegung desselben abhängen, oder erste Gründe der Optik.

Einleitung.

§. 1. Das Gefühl, oder vielmehr das Getast, belehrt uns gründlicher über die Beschaffenheit der Körper; aber das Gesicht ist unendlich fruchtbarer. Wir würden sehr dürftig an Vorstellungen sein, wenn unser Sinnenvermögen nicht weiter reichte, als unsere Hand greifen kann. Durch den Sinn des Gesichts erhebt die Natur unser Sinnenvermögen weit über die Gränzen des Wohnplatzes hinaus, an welchen wir gefesselt sind, bis in die unermeßlichen Räume der Schöpfung; und es ist ein hoher Triumph des menschlichen Geistes, daß es ihm gelungen ist, durch die Kunst die Kraft dieses Sinnes noch weit über die Gränzen hinaus zu erhöhen, welche ihr die Natur gesetzt zu haben schien. Das Auge stellt

uns auf einen Standpunkt, von wo aus wir die Schöpfung übersehen können. Hohe Auffoderung für jeden denkenden Menschen, die Gesetze seiner Erscheinungen näher kennen zu lernen.

§. 2. Die ganze Optik (so nennt man im weitern Sinne die ganze Lehre vom Licht, im engern nur den Inhalt dieses und des folgenden Capitels), ist einer der vollendetsten Theile der Naturlehre. Die Geschichte derselben ist für den philosophischen Naturforscher von großer Wichtigkeit, denn sie zeigt deutlicher als irgend ein anderer Theil der Naturlehre, den einzig richtigen Weg, der zur Vollendung einer Wissenschaft führt. Alle Speculationen über die Natur des Lichts, gemacht von den scharfsinnigsten Köpfen die je lebten, Descartes, Newton, Euler, haben die Wissenschaft nicht um einen Schritt vorwärts gebracht; aber die Versuche Newtons, Dollonds und anderer, zündeten ein Licht an, das alle Theile der Optik erhellt hat.

§. 3. Zwischen unserm Auge, und dem Gegenstande, den wir sehen, muß irgend eine Materie sein, welche die Einwirkung eines entfernten Gegenstandes auf unsern Sinn möglich macht. Was diese Materie sei, wissen wir nicht, werden es auch nie erfahren, da uns das Auge nicht diese Materie selbst, sondern nur vermittelst derselben die sichtbaren Dinge zeigt. In der That kann es uns aber ganz gleichgültig sein, ob diese Materie nach der Meinung einiger Alten (zu der sich wieder einige Neuere in Deutschland hinzuneigen scheinen) etwas aus dem Auge hervorgehendes sei; oder, nach der ältesten Vorstellungsart, welche am unmittelbarsten durch die Erscheinungen selbst veranlaßt wird, etwas aus den sichtbaren Dingen Ausströmendes (Emanations-

System); oder nach Des Cartes, Huyghens, Eulers, und vieler Neueren Meinung, eine unermeßlich feine und ausdehnsame Flüssigkeit (welche sie den Äther nennen), deren Erzitterungen auf ähnliche Art die Erscheinungen des Sehens, wie die Vibrationen der Luft die Empfindungen des Hörens hervorbringen (Vibrations-System). Es kann uns gleichgültig sein, ob irgend eine dieser Speculationen, oder ob keine die wahre sei, wofern wir nur die Gesetze kennen, unter welchen die Erscheinungen des Sehens stehen; und dieses ist dem menschlichen Geiste beinah so vollkommen, als in Ansehung der Gesetze der Schwere gelungen.

§. 4. Wir nennen die unbekannte Ursache der Sichtbarkeit Licht, oder Lichtstoff. Wir können die Wirkungen dieses Stoffs sperren, aber die Ursache der Erscheinungen können wir nicht sperren. Der Lichtstoff muß überall zugegen sein, wo sich nur der Stahl am Feuerstein reiben kann. Selbst unter Wasser giebt der Stahl Funken; der elektrische Funken ist im Wasser sichtbar; und der in Lebensluft entzündete Stahl, glüht unter dem Wasser fort. Der Lichtstoff muß also ein unsperrbarer, alles durchdringender, und von allen Körpern durchdrungener Stoff sein. Er muß von ganz anderer Natur sein, als alle wahrnehmbaren Stoffe, da er eine ganz andere Statik und Mechanik als diese hat. Denn wir werden sehen, daß wir in der Optik, welche die wahre Mechanik des Lichts ist, von allen in den vorigen Abschnitten entwickelten Gesetzen der Statik und Mechanik wenig oder nichts brauchen können. Nirgend werden sich auch nur die schwächsten Spuren, von einer Schwere, von einer Undurchdringlichkeit, von einer Wirkung durch Anstoß u. s. f. zeigen. Dürfen wir je ei-

nige nähere Aufschlüsse über die Natur dieses Stoffes hoffen, so müssen wir sie von der chemischen Naturlehre erwarten. Denn eben dieser Stoff spielt unverkennbar eine sehr wichtige chemische Rolle in der Natur. Fast überall paart er sich mit dem wirksamsten chemischen Agens, mit der Wärme: seine Wirkungen zeigen sich nicht nur bei den so mannigfaltigen und wichtigen Erscheinungen des Verbrennens, sondern auch bei den meisten elektrisch-chemischen Versuchen. Auch kennt der Chemiker mehrere Veränderungen der materiellen Beschaffenheit gewisser Stoffe, die ganz allein durch die Einwirkung des Lichts bewirkt werden. Und wer könnte den großen und wohlthätigen Einfluß verkennen, den das Licht auf alle organische Körper hat? Aber noch sind die Gesetze seiner chemischen Wirksamkeit eben so dunkel, als die Gesetze seiner Bewegungen klar sind.

Anm. 1. Im §. ist gesagt worden, daß die Gesetze der Statik und Mechanik bei dem Lichte keine Anwendung finden. In der ersten Ausgabe hieß es: die Gesetze der Bewegung. Dieses war unrichtig. Die allgemeinen rein mathematischen Sätze von der Bewegung, in welchen gar nicht von Materie und Kraft die Rede ist, finden allerdings ihre Anwendung bei allen erdenklichen Arten von Bewegungen, also auch bei dem Lichte. Aber von Schwere, Anstoß, Mittheilung der Bewegung ꝛc. zeigt sich bei dem Licht keine Spur.

2. Über die chemischen Wirkungen des Lichtes findet man viele Aufsätze in Gilberts Annalen B. 31, 35, 39, 43, 45, 46, 48, 50, 61.

Mechanik des geradlinigen Lichtes.

§. 5. Die Sonne, die Lichtflamme und alle glühende Körper verbreiten die Wirkung des Lichtes um sich her. Solche Körper nennt man selbstleuchtende.

Andere Körper geben die Wirkung zurück, die sie von jenen empfangen haben, und heißen erleuchtete. Alle Luftarten, die meisten tropfbaren Flüssigkeiten, besonders Wasser, viele feste Körper, besonders Glas, lassen die Wirkungen des Lichts durch sich hindurch. Diese heißen durchsichtige Körper; andere halten sie auf, diese heißen undurchsichtige Körper.

§. 6. Das erste Gesetz, unter welchem die Bewegungen des Lichtes stehen, ist folgendes:

die Wirkung des Lichtes bewegt sich gradlinig, so lange sie in einem durchsichtigen Mittel, von gleicher materieller Beschaffenheit bleibt.

Es bedarf keiner künstlichen Versuche, dieses Gesetz zu erweisen; eine Erfahrung die wir in jedem Augenblicke der Sichtbarkeit wiederholen können, daß wir einen Körper nicht sehen, sobald sich in der geraden Linie zwischen ihm und dem Auge ein undurchsichtiger Körper befindet, ist der vollständigste Beweis desselben. Zum Überfluß kann man in einem verfinsterten Zimmer die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes durch die Erleuchtung der Stäubchen, die in der Luft schwimmen, sichtbar machen.

§. 7. Dieses Gesetz giebt uns an der geraden Linie ein vortreffliches Bild für die Wirkungen des Lichts, und versetzt die ganze Optik unter die Herrschaft der Geometrie. Eine gerade Linie als der Weg betrachtet, den die Wirkung des Lichtes nimmt, heißt ein Lichtstrahl.

Anm. Die erste Ausgabe dieses Lehrbuches erschien 1805, lange vor Erscheinung des Werks unsers Herrn von Göthe: Zur Farbenlehre. Hätte dieser treffliche Kopf die mathematische Theorie des Lichtes sorgfältig studirt, so würde

er den Physikern keinen so plumpen Begriff von einem Lichtstrahl zugeschrieben haben, als er in diesem Werke thut, das bei vielen schönen Bemerkungen unendlich viele Mißverständnisse enthält.

§. 8. Von jedem Punkte eines selbstleuchtenden Körpers breiten sich die Lichtstrahlen nach allen Seiten aus, wohin man nur in dem durchsichtigen Mittel gerade Linien ziehen kann; und jeder Lichtstrahl verfolgt seinen geraden Weg so lange, bis er zu einem Raume von veränderter materieller Beschaffenheit gelangt. Alsdann aber ist der Erfolg nach der Beschaffenheit des Körpers, auf den er trifft, verschieden.

§. 9. Kommt der Lichtstrahl in ein durchsichtiges Mittel, das dichter oder dünner, oder von anderer materieller Beschaffenheit ist, und trifft er auf die Oberfläche desselben in schiefer Richtung, so leidet er eine Brechung (Refraction), d. h. er wird mehr oder weniger von seinem geraden Wege abgelenkt. Die Gesetze dieser Erscheinung entwickelt die Dioptrik.

Trifft der Strahl auf die polirte Oberfläche eines undurchsichtigen Körpers, so wird er in einer einzigen bestimmten Richtung zurückgeworfen. Die Gesetze dieser Zurückwerfung (Reflexion) untersucht die Katoptrik.

Geht ein Strahl sehr nahe bei einem Körper vorbei, so leidet er eine geringe Beugung (Inflexion), deren Gesetze noch nicht vollständig bekannt, aber auch von minder wichtigem Einfluß auf die Erscheinungen des Sehens sind. Doch werden wir einiges Neuere, die Beugung betreffende, im 49. Cap. §. 15. vortragen.

Fällt endlich das Licht auf einen undurchsichtigen und nicht polirten Körper, so gehen mit dem Licht Ver-

änderungen vor, die wir in diesem Capitel näher erörtern müssen.

§. 10. Der Körper wird unter diesen Umständen erleuchtet, d. h. jeder Punkt desselben wird gleichsam ein leuchtender Punkt, indem er das Licht, welches er empfängt, nach allen Seiten umher, wohin man nur in dem umgebenden durchsichtigen Mittel eine gerade Linie ziehen kann, zurück wirft. Dieses erhellt daraus, weil jeder solcher Punkt in allen diesen Richtungen sichtbar ist.

Man könnte die erleuchtende Kraft des Lichtes vergleichen mit den Erscheinungen des elektrischen und magnetischen Wirkungskreises. Ein leitender Körper wird in dem elektrischen Wirkungskreise elektrisch; Eisen in dem magnetischen, magnetisch; und undurchsichtige Körper werden in dem Wirkungskreise des Lichtes leuchtend. In allen drei Fällen verschwindet mit dem Wirkungskreise auch die Wirkung. Man könnte noch hinzusetzen, daß ein kalter Körper Wärme umher strahlt, so lange er sich in strahlender Wärme, d. i. in dem Wirkungskreise eines Feuers befindet.

§. 11. Begreiflich ist mit dieser Zerstreuung des Lichts allezeit eine sehr große Schwächung verbunden, indem jeder Strahl gleichsam in unzählig viele zerspalten wird. Daher ist der Eindruck dieses zerstreuten Lichtes ohne allen Vergleich schwächer, als das blendende Licht der selbstleuchtenden Körper.

§. 12. Es wird aber das Licht außer der Zerstreuung, die es leidet, auch noch durch eine zweite Ursache geschwächt. Es gehen nämlich mit dem Lichte selbst, bei der Berührung eines Körpers, zum Theil merkwürdige Veränderungen vor. Es giebt einige Körper, die alles Licht, welches sie empfangen, oder doch das meiste zurückgeben: dies sind die vollkommen weißen Körper.

Andere geben dagegen wenig oder gar nichts zurück. Dies sind die vollkommen schwarzen. Bei allen übrigen leidet das Licht eine besondere Veränderung, welche man als eine chemische Veränderung des Lichtstoffs ansehen könnte. Das zerstreute Licht macht nämlich in den meisten Fällen einen ganz andern Eindruck auf das Auge als das ursprüngliche; diesen Eindruck nennen wir eine Farbe. Jede Farbe schwächt allezeit das Licht beträchtlich; die hellen und lebhaften weniger, die dunkeln mehr. Die Gesetze der Farbenerscheinungen werden wir zwar erst in einem eigenen Capitel der Dioptrik genauer untersuchen: doch können wir schon hier bemerken, daß die Farbe offenbar nichts den Körpern eigenes ist, sondern daß das zurückgeworfene Licht selbst blau, grün, roth u. s. f. ist; indem es offenbar nichts als das Licht selbst sein kann, was die Empfindung der Farbe im Auge hervorbringt.

Anm. Es bedarf wohl kaum einer Erinnerung, daß *alles in* diesem §. erwähnte nicht Hypothesen sondern Thatsachen sind, und daß sie hier nur als unstreitige Erscheinungen aufgeführt werden. Das Sonnenlicht ist weiß. Weiße Körper geben daher dasselbe, wenn auch nicht vollständig, doch in seiner Beschaffenheit unverändert zurück. Vollkommen schwarze Körper geben gar kein Sonnenlicht zurück, und die Empfindung, welche sie im Auge hervorbringen, gleicht daher völlig der, welche die Abwesenheit des Lichtes bewirkt. Es ist nicht nur völlig unnöthig, sondern führt zu lauter Verwirrungen, wenn man die Schwärze für etwas positives halten wollte. Es kann übrigens nicht zweideutig sein, in welchem Sinne dem Lichte selbst hier eine Farbe beigelegt wird. Licht heißt grünes Licht, in so fern es in jedem Punkte seines Weges in einem Auge die Empfindung der grünen Farbe erregt. In einem gewissen sehr richtigen Sinne kann man freilich sagen, die grüne Farbe sei nur etwas im Auge vorhandenes. Aber die Em-

pfindung die wir Grün nennen, ist doch in allen Fällen, wo wir vermöge des von außen eindringenden Lichtes sehen, von der besondern Beschaffenheit des Lichtes abhängig. Von dem besondern Wesen dieser Beschaffenheit haben wir aber keinen Begriff, und es ist daher sehr natürlich, daß wir sie mit einem von der Wirkung entlehnten Worte bezeichnen.

§. 13. Eine bekannte Erfahrung setzt es außer Zweifel, daß das Licht eines farbigen Körpers selbst gefärbt ist. Wenn das Licht erleuchteter Gegenstände durch eine kleine Öffnung von beliebiger Gestalt in ein verfinstertes Zimmer fällt, so mahlen sich auf einer gegenüberstehenden weißen Wand alle Gegenstände verkehrt, und, wenn auch nicht scharf, doch alle mit ihren natürliche Farben ab. Diese Erscheinung erklärt sich leicht aus der geradlinigen Bewegung, und aus den Farben des Lichts. Man stelle sich einen Gegenstand, etwa eine hohe aufrechte Stange, deren Theile mit verschiedenen Farben bemahlt, und lebhaft erleuchtet sind, in einiger Entfernung vor einem verfinsterten Zimmer aufgestellt vor. In einem Fensterladen dieses Zimmers sei eine einzige kleine etwa dreieckige Öffnung, durch welche das von der Stange kommende Licht in das Zimmer fallen kann. Dem Fenster gegenüber sei in dem Zimmer eine ganz weiße recht ebene Wand. Man betrachte zuerst das Licht, was von der äußersten Spitze der Stange, die roth sein mag, durch die Öffnung geht. Dies Licht wird die Gestalt einer sehr dünnen dreiseitigen Pyramide haben, deren Spitze der leuchtende Punkt ist, und deren Seiten und Winkel durch die Gestalt des Loches bestimmt sind. Das Licht dieser Pyramide wird die weiße Gegenwand unterwärts treffen, und da einen kleinen der Gestalt des Loches ähnlichen dreieckigen Raum erleuchten. Dieser erleuchtete Raum ist die un-

deutliche Abbildung, die man auf der weißen Wand von der Spitze der Stange wahrnimmt, und da diese Abbildung roth erscheint, so muß das von der Spitze kommende Licht selbst roth sein. Ist der unterste Punkt der Stange blau, so wird auf der Wand oberwärts, vollkommen auf eben die Art, eine dreieckige also undeutliche blaue Abbildung entstehen. Eben dies gilt von allen übrigen Punkten der Stange, und so sieht man leicht, daß auf der Wand eine verkehrte, aber undeutliche Abbildung der ganzen Stange entstehen müsse, die eigentlich nicht aus Lichtpunkten, sondern aus kleinen Licht-Dreiecken zusammengesetzt ist. Wäre das Loch viereckig, so würde das Bild aus kleinen Licht-Vierecken, wäre es rund, aus kleinen Licht-Kreisen zusammengesetzt sein. Die Abbildung wird desto undeutlicher sein, je größer das Loch, je näher der Gegenstand, und je entfernter die auffangende Wand ist.

Wenn die Sonne durch dichtes Laub scheint, und man fängt die Schattenbilder mit einer gegen die Sonnenstrahlen senkrechten Ebene auf, so sind die lichten Stellen alle zirkelrund, aber nicht scharf begränzt. Dies sind lauter undeutliche Sonnenbilder, die auf die nämliche Art entstehen.

Daß die einzelnen Licht-Dreiecke, Vierecke ꝛc. in dem Bilde des Gegenstandes nicht ihrer Gestalt nach wahrgenommen werden können, sieht man leicht ein, wenn man erwägt, daß die Dreiecke, Vierecke ꝛc. ganz stätig in einander übergehen, uud daß die äußersten Gränzen des Bildes an der Wand nothwendig sehr schwach und undeutlich, also verwaschen erscheinen müssen.

§. 14. Die einfache Betrachtung, daß alles farbige Licht viel schwächer ist als das weiße, macht es wahrscheinlich, daß das weiße Licht der Sonne eine

Mischung von farbigem Licht verschiedener Art sei, und daß die Oberfläche jedes Körpers nur gewisse Bestandtheile desselben, d. h. gewisse Farben, zurückwerfe, andere hingegen entweder gleichsam verschlucke, oder doch unwirksam mache. Eine Vorstellung, welche durch die dioptrische Farbenlehre völlige Bestätigung erhalten wird.

Daß gewisse Körper Licht einsaugen, und es im Dunkeln wieder von sich geben, ist eine bekannte Thatsache (Lichtsauger).

Die Bewegungen des farbigen Lichtes stehen übrigens mit den Bewegungen des weißen Lichtes unter einerlei Gesetzen.

§. 15. Keppler glaubte noch die Geschwindigkeit des Lichtes sei augenblicklich, d. h. im eigentlichen Sinne unermeßlich. Indessen haben sie die Astronomen in der Folge wirklich gemessen, indem sie wahrnahmen, daß die Verfinsterungen der Jupiterstrabanten in demselben Verhältniß später sichtbar wurden, in welchem Jupiter weiter von uns entfernt war. Sie haben daraus berechnet, daß das Licht den Durchmesser der Erdbahn, d. i. einen Weg von 47416 Halbmessern der Erdkugel in 15 Minuten, oder 900″ zurücklege, und daß die Bewegung des Lichtes, soviel wir urtheilen können, vollkommen gleichförmig sei. Es legt also das Licht in einer Secunde zurück einen Weg von 52,68444 ... Halbmessern der Erdkugel: d. i. von 45 296 geogr. Meilen. Die größte Geschwindigkeit, die wir in der Natur kennen.

§. 16. Ob die Lebhaftigkeit eines einzelnen Lichtstrahls oder eines Lichtstroms, der aus lauter parallelen Strahlen bestände, bei seinem Fortrücken im leeren Raume oder in einem absolut durch-

sichtigen Mittel abnehme, oder sich gleich bleibe, ist schwer zu entscheiden. Doch macht die große Lebhaftigkeit des Lichtes der Fixsterne, welches in Betracht ihrer unermeßlichen Entfernung *) als aus parallelen Strahlen bestehend betrachtet werden muß, das letzte wahrscheinlicher, und beweist wenigstens unstreitig, daß in kleineren Weiten, die das Licht zurücklegt, keine irgend bemerkbare innere Schwächung seiner Lebhaftigkeit statt finde.

§. 17. Breitet sich aber Licht von einem Körper aus, so nimmt seine Stärke deswegen ab, weil es sich in einen größeren Raum verbreitet, je weiter es fortgeht. Mit Hülfe einiger bekannter geometrischer Sätze läßt sich zeigen:

daß die Stärke des Lichts in verkehrtem Verhältniß mit den Quadraten der Entfernung abnehme, wenn sich dasselbe von einem Punkt nach allen Seiten ausbreitet,

vorausgesetzt, daß die Stärke des Lichtes durch keine andere Ursache, als durch die Ausbreitung desselben, geschwächt werde. Dies ist der Hauptlehrsatz für die Lehre von der Ausmessung der Stärke des Lichts.

Anm. Es sei A Fig. 86. ein strahlender Punkt, und in der Entfernung AB stelle man sich eine geometrische Figur BCD von beliebiger Gestalt senkrecht auf AB vor: so übersieht man leicht, daß das von A auf BCD fallende Licht die Gestalt einer Pyramide habe, deren Spitze A, und deren Grundfläche BCD ist. Man verlängere diese Pyramide be-

*) Nach dem Urtheil der Astronomen braucht das Licht, trotz seiner ungeheuren Geschwindigkeit, wenigstens sechs Jahre (welche neuerlich auf dreie vermindert worden sind), um von dem nähsten Fixsterne zu uns zu gelangen. Und diese ungeheuere Entfernung ist eigentlich nicht die wirklich gemessene Entfernung eines Fixsterns, sondern zeigt bloß eine Gränze an, innerhalb deren sicher kein Fixstern stehen kann.

liebig, und durchschneide sie in der beliebigen Entfernung AE durch eine mit BCD parallele Ebene EFG. Geht nun das aus A kommende Licht durch diese beiden Ebenen BCD und EFG, so ist klar, daß in der einen gerade soviel Licht sein wird als in der andern. Aber BCD ist kleiner als EFG; folglich wird das Licht in BCD in demselben Verhältniß dichter sein, in welchem FFG größer ist als BCD. Heißt also in BCD die Stärke des Lichtes L, in EFG, 1, so ist $L : 1 = EFG : BCD$. Aber EFG nnd BCD sind ähnliche Figuren, als parallele Durchschnitte einer Pyramide, und verhalten sich daher wie die Quadrate zweier gleichliegenden Seiten; wir haben also auch $L : 1 = EF^2 : BC^2$; aber auch AEF und ABC sind ähnliche Dreiecke, weil die Linien BC und EF parallel sind, wir haben daher $EF : BC = AE : AB$, also endlich

$$L : 1 = AE^2 : AB^2 = \frac{1}{AB^2} : \frac{1}{AE^2}.$$

Wenn sich bei A mehrere strahlende Punkte befänden, so würde das Licht eines jeden nach diesem Gesetz abnehmen. Ist also in A nicht bloß ein leuchtender Punkt, sondern ein leuchtender Körper von beliebiger Gestalt und Größe, so ist klar, daß das erwiesene Gesetz auch auf jeden Punkt desselben anwendbar sei. Ist aber die Entfernung, für welche die Lichtstärke bestimmt werden soll, in Vergleichung mit dem Körper sehr groß, so kann man den Lehrsatz unbedenklich nicht bloß auf einzelne Punkte des Körpers, sondern auf den ganzen anwenden, weil die Entfernung aller seiner Punkte als gleich betrachtet werden kann. So kann man z. B. diesen Satz unmittelbar auf die Sonne ungeachtet ihrer ungeheuren Größe anwenden, wenn ihre erleuchtende Kraft auf zwei Planeten verglichen werden soll.

§. 18. Es hängt aber die Stärke des Lichtes außer der Entfernung auch noch von mehreren andern Umständen ab, und namentlich von folgenden:

1. Von der inneren Lichtstärke des leuchtenden Körpers.

2. Von der Größe und Lage desselben.

3. Von der Lage der Ebene, welche das Licht empfängt.

4. Von der Beschaffenheit des Mittels, durch welches das Licht geht.

Man muß aber von der Stärke des Lichtes die Stärke der Erleuchtung wohl unterscheiden. Denn diese hängt, wie aus §. 9. erhellet, auch von der Empfänglichkeit der erleuchteten Oberfläche für das Licht ab.

§. 19. Die Lichtstärke, sofern sie durch das Auge empfunden wird, heißt die Helligkeit. Bei der Anordnung optischer Instrumente macht diese einen besondern Gegenstand der Untersuchung aus, indem sie nicht bloß von der Stärke des Lichtes außer dem Auge, sondern besonders davon abhängt, in welchen Raum das Licht im Auge selbst durch die Brechung der Gläser ausgedehnt wird.

§. 20. Gänzliche Abwesenheit des Lichtes heißt Dunkelheit oder Finsterniß. Dagegen heißen solche Stellen in einem erleuchteten Raume, wohin das Licht des leuchtenden Körpers nicht unmittelbar kommen kann, weil es von undurchsichtigen Körpern aufgehalten wird, Schatten. Hinter jedem undurchsichtigen Körper befindet sich allezeit ein Raum, in welchen das Licht des leuchtenden Körpers nicht unmittelbar gelangen kann, so daß ein daselbst befindliches Auge vom leuchtenden Körper gar nichts sehen würde; diesen Raum nennt man eigentlich den Kernschatten, oder vollkommnen Schatten. Erscheint aber der leuchtende Körper nicht wie die Fixsterne als ein bloßer Punkt, sondern hat er wie die Sonne, der Mond und jede Lichtflamme eine merkliche sichtbare Größe, so giebt es hinter einem undurchsichtigen Körper, der das Licht empfängt, auch einen

Raum, der nicht das volle Licht, sondern nur einen Theil desselben empfängt, oder einen Raum, wo ein daselbst befindliches Auge, nur einen größern oder geringern Theil des leuchtenden Körpers sehen würde; diesen Raum nennt man den Halbschatten. Man übersieht leicht, daß von dem Kernschatten aus allezeit ein stätiger Übergang in das volle Licht statt finde, so daß das Auge auf einer Fläche, die den Schatten auffängt, zwischen beiden keine scharfe Gränze wahrnehmen kann. Da übrigens der Schatten bloß von der Gestalt des leuchtenden und des erleuchteten Körpers, und von der geradlinigen Bewegung des Lichtes abhängt, so ist diese ganze Lehre einer streng mathematischen Behandlung fähig, d. h. man kann in jedem bestimmten Falle die Gestalt des Kernschattens, und des Halbschattens, und die Lichtstärke in jedem Punkte des Halbschattens geometrisch bestimmen. Im gemeinen Leben pflegt man oft bei dem Wort Schatten sich bloß den Durchschnitt des Schattenraumes zu denken, der auf einer undurchsichtigen Fläche hinter dem Körper sichtbar wird.

§. 21. Mehrere Naturforscher haben sich Mühe gegeben, eine vollständige mathematische Theorie von der Ausmessung der Stärke des Lichts zu entwerfen, die man gewöhnlich Photometrie (Lichtmeßkunst) zu nennen pflegt, obgleich Karsten in seinen Lehrbüchern dieses Wort in einem weitläuftigern Sinne von der Optik überhaupt braucht. Bouguer unter den Franzosen, und Lambert unter den Deutschen haben sich vorzüglich mit diesem Gegenstande beschäftigt, und von dem letztern besitzen wir ein lateinisches Werk, das mit dem ihm eigenen Scharfsinne ausgearbeitet ist: Photometria sive de mensura et gradibus colorum

et umbrae. Augustae Vindel. 1760. Die Theorie hat ihre Schwierigkeit, weil die Lichtstärke so sehr von der materiellen Beschaffenheit der leuchtenden und erleuchteten Körper abhängt, die keiner mathematischen Ausmessung empfänglich sind. Die Anwendung der Theorie aber wird dadurch sehr beschränkt, daß unser Auge für feine Verschiedenheiten in der Lichtstärke sehr wenig Empfindlichkeit hat. Indessen haben Bouguer, Lambert und mehrere andere doch mancherlei Instrumente angegeben, die man Photometer (Lichtmesser) nennt, und deren Bestimmung es ist, die Stärke des Lichts unter gegebenen Umständen zu messen. Ein sehr brauchbares Instrument dieser Art hat der verdienstvolle Graf Rumford angegeben. M. s. Gren's neues Journal der Physik, II. S. 15. u. f.

§. 22. Licht, Wärme, Elektricität und Magnetismus, hängen auf so mannigfaltige Art zusammen, und stehen in vieler Rücksicht unter so ähnlichen Gesetzen, daß man sehr leicht die Idee fassen kann, sie als veränderte Wirkungen einer und derselben Grundkraft zu betrachten. So wichtig es indessen für die Wissenschaft ist, wenn es gelingt, sehr verschiedene Erscheinungen unter einen einzigen Gesichtspunkt, und unter gemeinschaftliche Gesetze zu stellen, so führt doch eben dieses Streben nur gar zu leicht zu leeren Spielen der Einbildungskraft, wenn es zu früh unternommen wird, ehe man noch die Gesetze der einzelnen Arten von Erscheinungen in einer gewissen Vollständigkeit kennt. Der Geist ächter Wissenschaft fodert daher, die verschiedenartigen Erscheinungen abgesondert zu betrachten, weil man nur auf diese Art zu einer hinreichenden Kenntniß des Einzelnen gelangen kann, wobei es indessen im-

mer unentschieden bleiben muß, ob nicht vielleicht die verschiedenen Erscheinungen Wirkungen einer einzigen Grundkraft sein möchten.

Was insonderheit Wärme und Licht betrifft, so ist zwar gewiß, daß gesteigerte Hitze eine Lichterscheinung, nämlich das Glühen, hervorbringt; ob aber umgekehrt Wärme durch Licht erregt werde, scheint mehr als ungewiß. Beide zeigen sich häufig verbunden, aber eben so oft, oder noch öfter zeigen sie sich unseren Sinnen als getrennt. Zu einer richtigen und vollständigen Kenntniß ihres Zusammenhanges wird man desto eher gelangen, je genauer man die Gesetze jeder einzelnen Art der Erscheinungen erforscht. M. vergl. XX. §. 5. und 6.

Fünfundvierzigstes Capitel.

Vom Sehen.

§. 1. Obgleich eine vollständige Theorie des Sehens nicht nur die Dioptrik, sondern selbst anatomische Kenntnisse, also die organische Naturlehre voraussetzt, so ist es doch möglich, schon hier das, was bei dem Sehen im Auge vorgeht, verständlich, wenn auch nur historisch, zu beschreiben.

Was das Auge selbst betrifft, so besteht es aus einer runden Kugel, welche die Natur von außen durch mehrere Veranstaltungen sorgfältig verwahrt, und in eine weiche Lagerstätte von Fett gelegt hat, worin es durch einige kleine Muskeln leicht nach allen Richtungen bewegt werden kann. Die äußerste Bekleidung des Auges selbst ist eine weiße undurchsichtige und hornar-

tige Haut ABCD Fig. 87., sie heißt die weiße Hornhaut (tunica cornea); nur vorne zwischen A und D erhebt sie sich gekrümmter, und ist völlig durchsichtig; daher heißt sie hier die durchsichtige Hornhaut. Unter der weißen Hornhaut liegt eine zweite dunkelfarbige Haut, die Adernhaut genannt (tunica choroidea); und unter dieser eine dritte gleichsam schleimartige, die Netzhaut (retina), welche die meisten Zergliederer für nervenartig, und für den eigentlichen Sitz der Empfindung des Lichtes halten. Sie scheint aus dem Mark des Sehnerven zu entspringen, der zwischen B und C in den Augapfel tritt. Unter der durchsichtigen Hornhaut AD tritt eine Fortsetzung der Adernhaut hervor, welche einen Ring bildet, dessen innere runde Öffnung die Augenöffnung oder Pupille heißt. Diese Haut, welche ein sehr künstliches Gewebe von Fasern ist, heißt ihrer bunten Farben wegen die Regenbogenhaut oder Iris. Sie besitzt die wunderbare Eigenschaft, sich bei verstärktem Lichte ohne unser Zuthun und Bewußtsein gegen den Mittelpunkt hin auszubreiten, so daß die Pupille kleiner wird; bei geschwächtem Lichte geschieht das Gegentheil. Das Auge verliert dadurch zwar an Empfindlichkeit für die Stärke des Lichts, gewinnt aber dadurch einen andern wichtigen und leicht einzusehenden Vortheil.

Hinter der Iris liegt ein halbharter, durchsichtiger, linsenförmiger Körper EF, welcher das Innere des Auges in zwei ungleiche Räume theilt, die man die Vorder- und Hinterkammer nennt. Dieser Körper heißt die Krystall-Linse (lens crystallinus). Die vordere Kammer enthält die wäßrige Flüssigkeit (humor aqueus), deren Beschaffenheit ihr Name

andeutet. Die Hinterkammer ist mit einer durchsichtigen Materie von gallertartiger Dichtigkeit angefüllt, welche man die gläserne Feuchtigkeit (humor vitreus) nennt.

Eine Linie GB, welche mitten durch die Pupille, und senkrecht durch die beiden Flächen der Linse geht, heißt die Achse des Auges. Sie ist bei einem nicht schielenden Auge auf den Gegenstand gerichtet, den man betrachten will, indem sich in der Gegend von B die lebhafteste Gesichtsempfindung äußert.

Anm. An der äußern Fläche des Augapfels sind einige bandförmige Muskeln mit dem einen Ende befestigt, deren anderes Ende an der inneren Fläche der Augenhöle befestigt ist. Besonders sind hier vier Muskeln zu merken, welche die Zergliederer die geraden nennen. Zwei befinden sich oben und unten, einander gegenüber, und sind in der Figur durch ein Paar Striche hinter P und Q angedeutet. Die beiden andern sind auf ähnliche Art an der rechten und linken Seite des Auges angebracht. Sie dienen nicht bloß, das Auge nach allen Seiten zu bewegen, sondern auch, wie wir sogleich sehen werden, zu einem andern sehr wichtigen Zwecke.

§. 2. Das Sehen entsteht dadurch, daß sich auf dem Hintergrunde des Auges ein kleines, verkehrtes aber sehr scharfes Bild der Gegenstände, auf welche das Auge gerichtet ist, gleichsam abmahlt. Dies geschieht auf folgende Art. Es sei HI ein Gegenstand, auf dessen Mitte G die Achse des Auges gerichtet ist. Jeder Punkt dieses Gegenstandes, er sei selbstleuchtend oder erleuchtet, z. B. der Punkt G wirft Strahlen nach allen Seiten von sich. Von diesen Strahlen dringt ein kleiner kegelförmig gestalteter Theil, der in der Figur durch drei Linien angedeutet ist, durch die Pupille in das In-

nere des Auges. Ein Strahl aus diesem Strahlenkegel, der mittelste, geht in unveränderter Richtung gerade hindurch, und bestimmt auf der Netzhaut den Punkt g, auf welchem sich G abmalen soll: die übrigen ihn umgebenden Strahlen werden sämmtlich gebrochen, aber so, daß sie alle in eben den Punkt g zusammentreffen; wäre nun der Punkt G gefärbt z. B. blau, so empfängt g nichts als blaues Licht, und wird also selbst blau gefärbt, also eine Abbildung von G sein. Völlig das nämliche geschieht mit den Strahlen, die von irgend einem andern Punkte des Gegenstandes kommen, z. B. von H oder I; und man darf nur von jedem solchen Punkte eine gerade Linie ungefähr durch die Mitte der Krystall-Linie ziehen, um die Stelle zu finden, wo sich jeder Punkt auf der Netzhaut abbildet. So bildet sich H in h, und I in i ab; und man sieht leicht, daß auf diese Art ein kleines verkehrtes Bild des Gegenstandes auf der Netzhaut entstehen müsse.

§. 3. Alles, was in der Erklärung des Sehens von der Optik gefodert werden kann, läßt sich sehr vollständig aus dem Gesetze der Brechung ableiten. Aber der Anatomie und Physiologie bleibt noch manche wichtige Frage zu beantworten übrig. Dahin gehört folgendes.

Die Erfahrung lehrt, daß wir zu nahe, und zu entfernte Gegenstände nicht scharf sehen, und daß es für jedes Auge eine gewisse Entfernung giebt, die man die Entfernung des deutlichen Sehens nennt, in welcher man die Gegenstände am schärfsten sieht. Dies ist im allgemeinen den Gesetzen der Dioptrik ganz gemäß; denn es läßt sich aus den Gesetzen der Brechung beweisen, daß die Strahlen eines zu nahen Punk-

tes sich nicht scharf auf der Netzhaut vereinigen, sondern erst ein wenig hinter derselben ihren Vereinigungspunkt haben würden. Strahlen zu entfernter Gegenstände hingegen vereinigen sich schon ein wenig vor der Netzhaut. In beiden Fällen kann kein scharfes Bild entstehen. Allein die Erfahrung lehrt, daß die Natur in dem Auge ein geheimes Kunststück angebracht hat, wodurch diesem Fehler in einem gewissen Grade abgeholfen wird. Über die Mittel, wodurch dieses bewirkt wird, sind die Physiologen und Zergliederer verschiedener Meinung. Neuerlich aber hat ein englischer Arzt Home in Verbindung mit Ramsden, einem eben so sinnreichen Beobachter als Künstler, gezeigt, daß es vermittelst der vier oben (§. 1.) erwähnten geraden Muskeln geschehe. Werden diese scharf angespannt, so drücken sie den Augapfel ein wenig zusammen, wodurch die Krümmung der durchsichtigen Hornhaut stärker wird. Diese stärkere Krümmung aber vermehrt die Brechung der Lichtstrahlen. Sieht man nun nach einem sehr nahen Punkte, so fallen die Spitzen der im Auge befindlichen Lichtkegel hinter die Netzhaut, indem man aber das Auge anstrengt deutlich zu sehen, so wird die Hornhaut, wie gesagt, stärker gekrümmt, die inneren Lichtkegel werden kürzer und ihre Spitzen rücken näher zur Netzhaut, und machen schärfere Bilder. Sieht man einen sehr entfernten Punkt, so würden die Spitzen der Lichtkegel vor die Netzhaut fallen, wenn nicht durch die nachlassende Spannung der Muskeln die Hornhaut flacher und die Lichtkegel länger würden. Eine Erklärung, die sehr befriedigend scheint.

Die Entfernung des deutlichen Sehens ist bei verschiedenen Menschen sehr verschieden. Im Durchschnitt

setzt man sie auf 8 Zoll. Wer sie merklich kürzer hat, ist kurzsichtig (myops), wer sie viel länger hat, ist weitsichtig (presbys). Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit sind mehr Fehler der Gewöhnung, als des Auges selbst. Denn es gehört zu der Eigenthümlichkeit unserer Organisation, daß die Muskeln durch Mangel an Übung steifer, durch Übung hingegen beweglicher werden, und sich immer vollkommner der Herrschaft des Willens unterwerfen. Daher kann ein gesundes Auge, besonders in der Jugend, eben sowohl zur Kurzsichtigkeit als zur Weitsichtigkeit verwöhnt werden. Ein zweckmäßig geübtes Auge wird in der Ferne und Nähe ziemlich deutlich sehen.

Wenn im Anfang des §. das deutliche Sehen in verschiedenen Entfernungen durch eine veränderte Krümmung der Hornhaut, also mechanisch, erklärt wird, so ist dadurch nicht ausgeschlossen, daß vielleicht zugleich eine verborgnere organische Veränderung im Innern vorgehe. Aber das Organische wird nie deutlich begreifen, wer das Mechanische nnd Chemische unbeachtet läßt.

§. 4. Das unerklärlichste beim Sehen ist dieses, wie es zugehe, daß das Bild, welches die Empfindung hervorbringt, im Auge, das Bild aber, welches wir sehen, außer dem Auge ist. Der Grund hievon liegt unstreitig in dem Innersten unsers Vorstellungsvermögens, also ganz außer der körperlichen Naturlehre, in dem Gebiete der Psychologie. So unerklärlich übrigens diese Erscheinung ist, so steht sie doch als Thatsache so fest, daß sie als ein Grundsatz zu der Erklärung anderer Erscheinungen gebraucht werden kann.

§. 5. Bei allen unsern Sinnen vermischt sich durch die tägliche Übung, Urtheil und Empfindung so mit-

einander, daß wir sehr oft etwas für Empfindung halten, was doch nur Urtheil ist. Bei keinem unserer Sinne tritt dieser Fall häufiger ein, als bei dem Gesicht. Es ist daher nöthig, dasjenige scharf zu bestimmen, was eigentlich wahre Empfindung ohne alle Einmischung eines Urtheils beim Sehen ist. Zu dem Ende ist es nöthig, den allereinfachsten Fall zu erwägen, und dies ist unstreitig der, wenn ein einziger strahlender Punkt (z. B. G Fig. 87.) sein Licht ins Auge sendet.

Alles, was das Auge in diesem Falle unmittelbar empfindet, ist 1) die Farbe des Lichtes, 2) die Richtung, in welcher der mittelste Strahl des Strahlenkegels die Netzhaut trifft. Diese beiden Stücke sind die einfachsten Elemente aller Gesichtsempfindungen.

§. 6. Aus den unleugbaren Thatsachen, die in den beiden vorigen §§. genau bestimmt worden sind, beantwortet sich eine Frage, über die man viel gestritten hat, sehr genugthuend: wie es zugehe, daß wir die Gegenstände aufrecht sehen, da doch die Bilder derselben im Auge verkehrt sind? Wäre das Bild des Punktes H, welches wir sehen, an derselben Stelle, wo die Empfindung im Auge entsteht, nämlich in h, so müßten wir den ganzen Gegenstand als etwas im Auge befindliches wahrnehmen, und dann würden wir ihn unstreitig so sehen, wie das Bild im Auge liegt, also verkehrt. Da wir aber nichts als Farbe und Richtung des aus H kommenden Lichtes empfinden (§. 5.), das sichtbare Bild von H aber durch ein unbegreifliches Spiel der Einbildungskraft aus uns hinausrückt (§. 4.), so können wir den Punkt H nirgend, als in dem außer dem Auge befindlichen Theile der Linie Hh sehen; d. h. ein Punkt, dessen Ab-

bildung im Auge unter der Achse ist, wird über derselben gesehen, und umgekehrt.

§. 7. Daß wir mit zwei Augen die Gegenstände nur einfach sehen, ist eine Folge davon, daß wir immer mit beiden Augen dieselben Gegenstände sehen; wodurch beide Bilder in der Empfindung in eins gleichsam zusammenschmelzen.

§. 8. Die sichtbare Größe (magnitudo apparens) eines Gegenstandes ist bekannter Maßen veränderlich, also von der wahren oder tastbaren Größe verschieden. Sie nimmt mit dem Winkel HLI zu und ab, von dessen Größe auch das Bild im Auge hi abhängig ist. Daher muß man den Winkel HLI, unter welchem man einen Gegenstand sieht, als das Maaß seiner sichtbaren Größe betrachten. Man nennt diesen Winkel den Sehwinkel, oder den sichtbaren Durchmesser des Gegenstandes.

Wir bemerken hier noch zweierlei.

1. Eigentlich ist die sichtbare Größe nicht einem bloßen ebenen Winkel, sondern einem körperlichen proportional. Befindet sich z. B. ein Auge in A, Fig. 86., und betrachtet eine dreieckige Scheibe BCD, oder EFG, so ist eigentlich der zwischen den drei von A auslaufenden Kanten enthaltene körperliche Winkel der sichtbaren Größe proportional. Indessen ist es in den allermeisten Fällen hinreichend, nur einen Durchmesser des Körpers zu betrachten, und diesen sieht das Auge allezeit unter einem ebenen Winkel.
2. Was wir hier sichtbare Größe nennen, heißt bei den Schriftstellern allgemein scheinbare Größe, als ob hiebei eine Täuschung statt fände. Der lateinische Ausdruck apparens enthält nichts, was auf eine Täuschung deutete. Der Winkel HLI (Fig. 87.), unter welchem das Auge die Linie HI sieht, ist nichts scheinbares, sondern etwas bestimmtes, und wirklich empfundenes. Was man aber mit völli-

gem Rechte eine scheinbare Größe nennen könnte, wird weiter unten in §. 13. erklärt werden.

§. 9. Die Empfindlichkeit der Netzhaut hat ihre Gränzen; wird der Sehwinkel gar zu klein, so sind wir nicht mehr im Stande die Gegenstände zu unterscheiden. Gemeiniglich nimmt man an, ein Gegenstand höre auf, sichtbar zu sein, wenn sein Sehwinkel kleiner sei als eine Minute. Dies ist indessen nur als eine ungefähre Durchschnittsbestimmung anzusehen. Denn die Sichtbarkeit eines Punktes oder eines Gegenstandes hängt nicht bloß von der Größe seines Sehwinkels, sondern noch mehr von dem Abstiche seines Lichtes gegen das Licht des Hintergrundes ab, auf welchem er gesehen wird. Ein sehr heller Gegenstand auf einem dunkeln Hintergrunde kann unter einem Sehwinkel, der weit kleiner als eine Secunde ist, sichtbar bleiben, wie die sämmtlichen Fixsterne beweisen, unter welchen vielleicht nicht einer den scheinbaren Durchmesser von einer Secunde hat. Umgekehrt kann aber auch ein Gegenstand, der unter einem viel größeren Winkel erscheint, unsichtbar werden, wenn sein Licht gegen den Hintergrund wenig absticht.

Anm. Absolute Genauigkeit findet überall nur in unsern Ideen, nie in der Wirklichkeit statt. Das gesehene Bild eines strahlenden Punktes ist nie ein geometrischer Punkt, sondern ein kleiner Raum, mit dessen Größe die Deutlichkeit in verkehrtem Verhältniß steht; weswegen bei der Deutlichkeit Grade statt finden, eine absolute Deutlichkeit aber in der Wirklichkeit nie vorkommen kann. Und dieses aus einem doppelten Grunde. 1) Es ist höhst wahrscheinlich, daß die Spitzen der Lichtkegel, welche sich (§. 2.) im Auge bilden, keine geometrischen Punkte sind; 2) und wären sie es auch, so beschränkt sich der Eindruck des Lichtes nie bloß auf die Stelle, wohin die Strahlen unmittelbar treffen, sondern theilt sich auch dem an-

gränzenden Theile der Netzhaut mit. Erscheint daher ein Gegenstand seiner Entfernung wegen (wie die Fixsterne) unter einem sehr kleinen Winkel, so begreift man, warum wir das Bild desselben von dem Bilde eines bloßen Punktes nicht unterscheiden können.

§. 10. Von der Entfernung der Gegenstände empfindet das Auge unmittelbar gar nichts. Denn der Eindruck auf die Netzhaut hängt offenbar lediglich von der Richtung und Stärke der Lichtstrahlen im Augenblicke der Berührung ab. Ob ein Strahl außer dem Auge einen langen oder kurzen Weg gemacht habe, dies kann offenbar auf die Empfindung, die er hervorbringt, nicht den mindesten Einfluß haben. Was uns daher das Auge über die Entfernung der Dinge zu sagen scheint, ist nicht Empfindung, sondern ein bewußtloses Urtheil, das aber durch die beständige Übung so mit der Empfindung verschmolzen ist, daß wir es kaum von ihr unterscheiden können.

§. 11. Die Natur hat uns aber die Beurtheilung der Entfernung sehr erleichtert. Denn wenn auch die Entfernung selbst nicht empfunden wird, so ist doch mehr als ein Umstand in der Empfindung des Auges anders, wenn wir einen nahen, als wenn wir einen entfernten Gegenstand betrachten. Dahin gehört folgendes.

1. Bei einem fehlerfreien Auge ist jede Augenachse auf den Punkt gerichtet, den man betrachtet. Liegt dieser Punkt nahe, so müssen beide Achsen einen viel größeren Winkel machen, als wenn er entfernt ist. Die Anstrengung der Muskeln aber, die zur Bewegung des Augapfels erfoderlich ist, ist etwas, was empfunden wird.

2. Der Grad der Deutlichkeit und Schärfe, mit welcher wir jeden Punkt sehen, ist bei nahen Gegenständen anders als bei entfernten (§. 3.).

3. Das Licht entfernter Gegenstände ist weit schwächer als das Licht naher Gegenstände, und dies theils wegen der Abnahme der Lichtstärke mit der Entfernung (XLIV. 16.), theils wegen der unvollkommnen Durchsichtigkeit der Luft in den unteren Regionen des Luftkreises.

4. Die sichtbare Größe der Gegenstände (§. 8.), die sich mit der Entfernung ändert, bestimmt unser Urtheil über die Entfernung, vorausgesetzt, daß uns die wahre Größe des Gegenstandes durch das Getast oder auf andere Art bekannt sei.

5. Endlich ist die Lage eines gesehenen Gegenstandes gegen andere Gegenstände, deren Lage und Entfernung uns bekannt ist, ein Bestimmungsgrund unseres Urtheils.

§. 12. Bei nahen Gegenständen, wo die richtige Beurtheilung der Entfernung für uns am wichtigsten ist, vereinigen sich alle diese Umstände, unser Urtheil zu schärfen. Je größer die Entfernung wird, desto unsicherer wird unser Urtheil; und jenseits des Luftkreises verlassen uns alle Mittel, so daß uns nicht nur die Gestirne, sondern selbst hohe Meteore, alle an einer einzigen Fläche des Himmelsgewölbes, welches uns die blaue Farbe der Luft täuschend vormahlt, zu sein scheinen. Daß uns dieses Himmelsgewölbe nicht als eine halbe Kugel, sondern als ein flaches elliptisches Gewölbe erscheint, daß uns Sonne, Mond und Sterne am Horizont größer und weiter von einander abstehend erscheinen, als wenn sie hoch am Himmel stehen, erklärt

sich sehr befriedigend aus §. 11., indem sich mehrere Umstände vereinigen, die uns bestimmen, das, was nahe am Horizont erscheint, für entfernter zu halten, als das, was wir am Himmelsgewölbe hoch über uns sehen.

§. 13. Entfernung, sichtbare Größe (§. 8.), und wahre Größe hängen so unter einander zusammen, daß durch je zwei derselben, die dritte, also auch durch Entfernung und sichtbare Größe die wahre Größe bestimmt ist. Irren wir uns daher in der Beurtheilung von der Entfernung, so muß nothwendig daraus auch ein falsches Urtheil über die wahre Größe entstehen. Eine solche unrichtige Vorstellung von der wahren Größe nun ist es, was man mit völligem Recht die scheinbare, oder auch die eingebildete Größe nennen kann. Wie wichtig es ist, diese scheinbare Größe von der sichtbaren zu unterscheiden, erhellet daraus, weil beide unter völlig entgegengesetzten Gesetzen stehn. Die sichtbare Größe nimmt mit der Entfernung ab, die scheinbare zu.

Was wir von einem Körper sehen, ist genau betrachtet eine Projection aller dem Auge zugewendeten Punkte auf einer Ebene, welche auf der Augenachse lothrecht steht. Nun sei HI Fig. 87 a. ein Durchmesser, oder GH ein Halbmesser des Gegenstandes in dieser Ebene, so ist HGL ein rechtwinkliges Dreieck. In diesem Dreiecke ist aber GL die Entfernung des Gegenstandes, GLH sein sichtbarer Halbmesser, GH sein wahrer Halbmesser. Nun ist bekanntlich ein rechtwinkliges Dreieck völlig bestimmt, wenn nur zwei seiner Bestandtheile, und unter diesen wenigstens eine Seite, gegeben sind. Hieraus ergiebt sich, daß durch zwei der genannten Stücke das dritte bestimmt ist, also ist namentlich GH bestimmt, wenn GL und GLH gegeben sind.

Was nun aber den Unterschied der sichtbaren und scheinbaren Größe betrifft, so sei in A Fig. 87. b. ein Auge, welches den lothrechten Halbmesser BC eines in B befindli-

chen Gegenstandes betrachtet, so sieht es denselben unter dem Winkel BAC. Dieser ist also das Maaß seiner sichtbaren Größe.

Würde BC (nicht in der Einbildung, sondern wirklich) nach D versetzt, so würde, wenn DE = BC, nur noch der Winkel DAE das Maaß seiner sichtbaren Größe sein. Und es ist klar, daß diese mit zunehmender Entfernung abnimmt; und umgekehrt.

Nun nehme man aber an, der Gegenstand würde nicht wirklich, sondern durch eine falsche Beurtheilung seiner Entfernung, in Gedanken nach D versetzt, so sieht ihn noch immer das Auge unter dem Winkel BAC. Dieses ist aber, befände sich der Gegenstand wirklich in D, nur möglich, wenn er die Größe DF hätte. Setzt also der Beobachter den Gegenstand fälschlich nach D, so muß er ihm die Größe DF beilegen.

Dieses ist nun die eingebildete oder scheinbare Größe, und es ist sichtbar, daß sie in geradem Verhältniß mit der Entfernung zu- und abnimmt.

Dieser Unterschied ist wohl zu merken, weil sich daraus viele optische Täuschungen erklären.

§. 14. Auch die sichtbare Gestalt eines Dinges ist nicht seine wahre (tastbare) Gestalt. Das Bild auf der Netzhaut ist kein Körper, sondern nur eine Fläche, und so erscheint auch jeder Gegenstand dem Auge als eine bloße Fläche. Indessen urtheilen wir doch mit vieler Sicherheit über die wahre Gestalt eines sichtbaren Gegenstandes, besonders in der Nähe, wo alles, was unser Urtheil über Entfernung und Größe bestimmt, auch zur Berichtigung unsers Urtheils über die Gestalt dient. Das wichtigste Hülfsmittel zur Beurtheilung der Gestalt aber liegt in dem Wechsel von Licht und Schatten, besonders wenn es verstattet ist, den Gegenstand von mehr als einer Seite zu betrachten.

§. 15. Auf den Bemerkungen des vorigen §. beruht die Möglichkeit der Mahlerei, d. i. der Kunst, sicht-

bare Gegenstände auf einer bloßen Fläche darzustellen. Außer demjenigen, was das schaffende Genie des Künstlers in das Gemälde legt, gehören zu der äußeren Richtigkeit desselben, die geometrische und die Luft-Perspective. Jene lehrt, die Umrisse der Gegenstände so zu zeichnen, wie sie nach den Gesetzen des Lichtes dem Auge wirklich erscheinen: diese Materie ist einer vollkommen mathematischen Behandlung fähig, und wird daher als ein Abschnitt der angewandten Mathematik angesehen. Die Luft-Perspective besteht in der richtigen Abstufung des Lichtes und der Deutlichkeit nach der Entfernung. Wegen der Unvollkommenheit der theoretischen und praktischen Photometrie (XLIV. 21.) läßt sie keine vollkommen mathematische Behandlung zu.

§. 16. Eine Bewegung, die wir sehen, ist etwas anders als die wahre Bewegung; wir nennen sie daher sichtbare Bewegung. (Man vergleiche §. 13.) Ein Körper, der sich in der Achse des Auges befindet, und gerade auf das Auge zu, oder von demselben weggeht, scheint uns stille zu stehen, wofern er nicht etwa so nahe ist, daß wir die Veränderung seiner scheinbaren Größe und seiner Entfernung wahrnehmen. In andern Fällen ist es immer nur die Bewegung des Bildes auf der Netzhaut, was wir wahrnehmen; und diese Bewegung kann begreiflich von der wahren Bewegung des Gegenstandes gar sehr verschieden sein. Ja wenn das Auge selbst in Bewegung ist, so bewegen sich die Bilder auf der Netzhaut, auch wenn alles außer dem Auge stille steht. Ist sich daher das Auge (oder vielmehr, das durch das Auge wahrnehmende Vorstellungsvermögen) der Bewegung des Auges nicht bewußt, so muß die

Täuschung entstehen, als ob das Auge still stände, und die Gegenstände sich bewegten. Dieser Fall findet in der Wirklichkeit statt, da wir uns der durch die Astronomen entdeckten Bewegung unserer Erdkugel nicht bewußt sind. Haben beide, das Auge sowohl als der gesehene Körper, Bewegung, so müssen die Erscheinungen noch verwickelter werden, wie dies mit den sonderbar verschlungenen scheinbaren Wegen der Planeten an der Himmelskugel der Fall ist.

Es macht dem menschlichen Geiste Ehre, daß er in alle diese verwickelten Erscheinungen Ordnung und Licht gebracht hat. Aber er konnte nur auf dem Wege der Mathematik dahin gelangen: denn diese ganze Materie ist der strengsten mathematischen Behandlung empfänglich, ob sie gleich nicht als ein abgesonderter Theil der angewandten Mathematik, sondern theils in der Perspective, theils in der Mechanik und Astronomie vorgetragen zu werden pflegt.

§. 17. Aus allem Vorgetragenen erhellet, daß alle optischen Täuschungen nicht lügenhafte Empfindungen, sondern falsche Urtheile sind, wozu uns aber oft die Empfindung eine verführerische Veranlassung giebt. Auch treibt oft die Phantasie bei den Erscheinungen des Sehens ein unbemerktes Spiel, indem sie bei Bildern, welche wegen zu großer Entfernung der Gegenstände, oder wegen Mangel an Licht und Deutlichkeit, keine scharfen und bestimmten Umrisse haben, das Mangelnde ohne unser Bewußtsein, aber gewöhnlich unrichtig ergänzt. Was das gesunde Auge sieht, das ist als Empfindung immer wahr. Was Urtheil und Einbildungskraft hinzufügen, kann falsch sein. Wir wären sehr übel

berathen, wenn die Empfindnng uns betrügen, und uns, wie dem Nervenkranken, falsche Bilder vorgaukeln könnte.

Sechsundvierzigstes Capitel.

Zurückwerfung des Lichtes von Spiegelflächen, oder erste Gründe der Katoptrik.

§. 1. Eigentlich spiegelt jede polirte Oberfläche, selbst die eines durchsichtigen Körpers. Ja es giebt sogar jede erträglich ebene Fläche, wenn man sehr schräge auf sie sieht, einige, wiewohl meistens sehr undeutliche Spiegelung. Unter allen festen Körpern sind es aber bloß einige einfache und zusammengesetzte Metalle, welche einer vollkommenen Spiegelpolitur empfänglich sind. Hievon machen selbst die Glasspiegel keine Ausnahme, da eigentlich das Zinnamalgam, womit die Hinterfläche belegt ist, die Spiegelung bewirkt.

§. 2. Die Glasspiegel machen zwar für die gewöhnlichen Bedürfnisse die Metallspiegel entbehrlich: aber zu genauen optischen Versuchen sind sie unbrauchbar, theils, weil sie eine doppelte Spiegelung, von der Vorder- und Hinterfläche machen, theils, weil das Licht, was zu der Hinterfläche gelangt, im Glase selbst zweimal gebrochen wird, also die Erscheinungen keine reine Wirkung der Zurückstrahlung sind. Um desto unangenehmer ist es, daß es so schwer hält, gute Compositionen zu Metallspiegeln zu verfertigen.

§. 3. Was die Gestalt der Spiegelflächen betrifft, so sind unter den unendlich mannigfaltigen möglichen Arten nur zwei, die einer genauern Erörterung werth sind; die ebenen und die sphärischen oder Kugel-

spiegel. Unter der letzten Benennung versteht man solche, welche Stücke einer entweder auf der äußeren oder innern Seite polirten Kugelfläche sind.

Man hat sich seit Descartes (Cartesius) Zeiten viele vergebliche Mühe gegeben, Spiegel von anderen Krümmungen, z. B. von parabolischer, elliptischer ꝛc. zu schleifen. Allein nicht nur hat ihre genaue Ausarbeitung fast unüberwindliche Schwierigkeiten, sondern es läßt sich auch aus theoretischen Gründen zeigen, daß sie in Ansehung der Wirkung in den meisten Fällen schlechter als sphärische Spiegel sein würden. Kegelförmige und cylindrische Spiegel dienen bloß zu optischen Spielwerken, und sind nicht von Wichtigkeit.

Grundgesetz der Katoptrick.

§. 4. So mannigfaltig die Lichtererscheinungen sind, welche durch Spiegel hervorgebracht werden, so beruhen sie doch alle auf einem einzigen höhst einfachen Grundgesetz. Dieses Grundgesetz der Katoptrik ist folgendes:

fällt ein Lichtstrahl HA Fig. 88. auf irgend eine Spiegelfläche (BAC, oder DAE, oder FAG), und man errichtet in dem Einfallspunkte A die Linie AI senkrecht auf den Spiegel, und legt durch sie und den einfallenden Strahl in Gedanken eine Ebene, so liegt auch der zurückgeworfene Strahl in eben dieser Ebene, und zwar so, daß er mit der senkrechten Linie AI einen eben so großen Winkel IAK = IAH als der einfallende Strahl macht.

Mit einem Wort, der einfallende und der zurückgeworfene Strahl haben gegen die senkrechte Linie AI und gegen den Spiegel eine entgegengesetzte, aber sonst ganz gleiche Lage. Man nennt IA das Einfallsloth;

IAH den Einfallswinkel; IAK den Zurückwerfungswinkel. Fällt ein Strahl senkrecht auf einen Spiegel, so ist der Einfallswinkel, folglich auch der Zurückwerfungswinkel, = 0; d. h. der Strahl kehrt in sich selbst zurück.

Zu einer vollkommenen Spiegelung ist erfoderlich, daß sie die Farbe des Lichtes nicht ändert; doch leidet das Licht selbst bei der besten Spiegelung einige Schwächung, die bei senkrechten Strahlen ein wenig stärker ist, als bei sehr schräge auffallenden. Am auffallendsten ist diese Schwächung bei der Politur durchsichtiger Körper.

Die Richtigkeit des katoptrischen Grundgesetzes läßt sich auf mancherlei Art durch Versuche sichtbar machen, wenn man irgend eine Vorrichtung ausdenkt, durch welche sich die Lage eines einfallenden, und des zurückgeworfenen Strahles sichtbar machen läßt. Eine der einfachsten Arten besteht darin, daß man in einem verfinsterten Zimmer, Sonnenlicht durch eine sehr kleine Öffnung auf einen Spiegel fallen läßt, wo man die ganze Lage des einfallenden und zurückstrahlenden Lichtes (durch die Erleuchtung der in der Luft schwimmenden Stäubchen) mit dem Auge verfolgen kann. Der eigentlich strenge Beweis seiner Richtigkeit liegt aber in der vollkommensten Übereinstimmung aller daraus abgeleiteten Folgerungen mit der Erfahrung.

Anwendung auf ebene Spiegel.

§. 5. Um deutlich einzusehen, wie die bekannten Erscheinungen ebener Spiegel entstehen, darf man nur folgendem Lehrsatze die nöthige Aufmerksamkeit schenken.

Es sei AB Fig. 89. ein senkrechter Durchschnitt eines ebenen Spiegels, und C ein strahlender Punkt vor denselben. Man fälle aus C das Loth CD auf den Spiegel, und mache die Verlängerung desselben

hinter dem Spiegel DE = CB, so wird jeder von C auf den Spiegel fallende Strahl, z. B. CF, in solcher Richtung FG reflectirt, als käme er aus dem Punkte E. Dieser Punkt E ist das optische Bild des Punktes C.

Der Beweis ergiebt sich sehr leicht aus dem Grundgesetze (§. 4.). Man errichte in F das Einfallsloth FH. Dieses und CF sind parallel, weil beide auf der Spiegel-Ebene winkelrecht stehen. Legt man durch beide eine Ebene, so liegt auch der Strahl CF in derselben. In eben derselben liegt auch der zurückgeworfene Strahl FG, und es ist nur noch zu beweisen, daß die Winkel HFC, HFG gleich sind.

Aus der Construction ist klar, daß die Dreiecke DFC, DFE congruent, also die Winkel FCD, FED gleich sind. Es ist aber nach bekannten Sätzen HFC = FCD und HFG = FED, folglich ꝛc.

Ob also gleich in E kein wirklich strahlender Punkt vorhanden ist, so ist doch klar, daß alles vom Spiegel reflectirte Licht gerade so fortgeht, als wäre ein solcher in E. Daher muß ein Auge, welches diese Strahlen empfängt, in E ein Bild des strahlenden Punktes sehen.

§. 6. Da also zu jedem strahlenden Punkte ein optisches Bild gehört, welches gegen die Hinterfläche gerade so liegt, als der strahlende Punkt gegen die Vorderfläche, so begreift man leicht, daß ein strahlender Gegenstand durch den Spiegel ein optisches Bild erhält, welches gegen die Hinterfläche gerade so liegt, als der Gegenstand selbst gegen die Vorderfläche; woraus nun, wie leicht einzusehen, eine Verwechselung der rechten und linken Seite entsteht.

So einfach und klar die Theorie der ebenen Spiegel ist, so verdient sie eine sorgfältige Beachtung, damit man sich nicht schwärmerische also unklare Vorstellungen von optischen Bildern mache. Denn in der That entstehen alle solche Bilder auf ganz ähnliche Art.

In Fig. 90. sei wieder AB ein senkrechter Durchschnitt eines ebenen Spiegels, und HI sei ein vor demselben befindlicher strahlender Gegenstand. Das optische Bild irgend eines Punktes C desselben findet man nach §. 5., wenn man von C auf die (nöthigen Falls erweiterte) Ebene des Spiegels ein Loth CD fällt, und seine Verlängerung CE = ED macht. Stellt man sich nun vor, daß auf dieselbe Art das optische Bild jedes andern Punktes gefunden wäre, so ist klar, daß hinter dem Spiegel sich ein Bild KL zeigen wird, welches gerade so gegen die Hinterfläche, als HI gegen die Vorderfläche liegt. In der That existirt ein solches Bild nicht; aber alles reflektirte Licht geht vollkommen so fort, als existirte dasselbe.

Betrachtet man nun wieder einen einzelnen strahlenden Punkt C, so hat diejenige Lichtmasse, die von ihm auf den Spiegel fällt, eine pyramidalische Gestalt CAB, deren Spitze C, und deren Grundfläche der Spiegel ist. Sie ist aber dreiseitig, vierseitig ꝛc. oder kegelförmig, je nachdem der Spiegel dreieckig, viereckig ꝛc. oder kreisförmig ist. Das zurückgeworfene Licht FABG bildet ebenfalls eine Pyramide, deren Spitze in E ist, von welcher aber das Stück EAB abgeschnitten ist. Der Hauptunterschied zwischen einem strahlenden Punkte C und seinem Bilde E besteht nun darin, daß der erste nach allen Seiten Strahlen wirft, der andere nur innerhalb eines pyramidalischen Raumes. Den erstern kann man also von allen Seiten sehen, wohin er Licht wirft, den andern nur, wenn sich das Auge innerhalb des Raumes FABG befindet.

Aus dieser Betrachtung ergiebt sich leicht, wieviel ein Auge, das in einer bestimmten Stelle O vor dem Spiegel steht, von allen hinter demselben befindlichen optischen Bildern sehen wird. Zieht man nämlich von O die geraden Linien OA, OB, nach den äußersten Gränzen des Spiegels (und so ringsherum nach allen Gränzpunkten), und verlängert diese Linien beliebig hinter dem Spiegel nach M und N, so ist leicht einzusehen, daß das Auge in O von dem ganzen Bilde KL nur das Stück MN sehen könne, weil von allen Strahlen die von Punkten außerhalb MN ausgehen, keiner nach O kommen kann.

Der Spiegel giebt also im Grunde diejenige Erscheinung, die man sehen würde, wenn sich alle vor dem Spiegel befindlichen Gegenstände, hinter dem Spiegel in umgekehrter Lage befänden, der Spiegel selbst aber ein bloßes Loch wäre, durch welches man sähe.

§. 7. Hat man deutliche Begriffe von den Wirkungen eines Spiegels, so erklären sich ohne Schwierigkeit die Erscheinungen, welche zwei geben.

Stellt man zwei in paralleler Lage einander gegenüber, so spiegelt sich jeder im andern ab. So erhält man das erste Paar von Spiegelbildern, die eben so hinter beiden Spiegeln stehen, wie einer der beiden Spiegel gegen den andern steht. Das reflektirte Licht, welches diese Bilder erzeugen, fällt aber auf beide Spiegel vollkommen so, als ob die Bilder Gegenstände wären, und so entsteht ein zweites Paar Bilder in gleicher Entfernung hinter dem ersten. Und man übersieht leicht, daß das hin- und hergeworfene Licht zwischen beiden Spiegeln, eigentlich hinter jedem Spiegel eine unendliche Reihe von Bildern hervorbringen würde, wenn sich nicht bei jeder Zurückstrahlung das Licht so schwächte, daß man nur eine gewisse Anzahl dieser Bilder deutlich unterscheiden kann. Befindet sich ein Gegenstand, etwa eine Lichtflamme zwischen beiden Spiegeln, so wird man auch diese zwischen jeden zwei Spiegelbildern erblicken.

Kehrt man zwei Spiegel einander so entgegen, daß sie unter einem Winkel zusammenstoßen, so stoßen auch alle ihre Bilder unter demselben Winkel zusammen, und bilden im Durchschnitt einen Stern, der so viele Strahlen hat, als der Winkel der Spiegel zuläßt, z. B. einen sechseckigen, wenn der Winkel 60° ist. Die Anzahl

dieser Bilder ist also immer endlich. Liegen Gegenstände zwischen den Spiegeln, so erscheinen diese symmetrisch geordnet um den Mittelpunkt des Sterns.

Auf dem letzten beruhen die artigen Erscheinungen des allgemein bekannten Kaleidoskops, von welchem vor einiger Zeit mehr Aufsehn gemacht wurde, als die Sache verdient. Unter den vielen optischen Entdeckungen und Erfindungen, welche Brewster in Edinburg neuerlich gemacht hat, ist es gerade die unbedeutendste.

Anm. Die im §. beschriebenen Erscheinungen lassen sich am bequemsten mit Glasspiegeln machen, die man leicht in hinreichender Größe haben kann. Bei genauen optischen Versuchen, sind sie sonst unbrauchbar, weil sie eigentlich eine doppelte Spiegelung geben, und überdies das von der Hinterfläche reflektirte Licht zwei Brechungen leidet; weswegen eine genaue Theorie derselben erst in der Dioptrik gegeben werden kann. (M. vergl. XLVII. §. 9. u. 10.)

Sphärische Spiegel.

§. 8. Aus C Fig. 91. sei eine Kugelfläche beschrieben mit dem Halbmesser DC. Durch eine auf DC winkelrechte Ebene GH sei ein Segment derselben ADB abgeschnitten, dessen Umfang bekanntlich die Gestalt eines Kreises hat. Denkt man sich das Segment ADB körperlich, und auf der innern oder äußern Fläche polirt, so hat man den bestimmten Begriff von einem sphärischen Spiegel.

C heißt der geometrische, D der optische Mittelpunkt des Spiegels, eine unbegränzte durch C und D gezogene Linie seine Achse. Ein Strahl der auf die polirte innere oder äußere Fläche fällt, wie ID oder LD heißt ein Hauptstrahl. Der ihm zugehörige reflectirte Hauptstrahl DK oder DM wird gefunden, wenn man den Winkel CDK=CDI oder NDM=NDL

macht. CD (nicht DA oder DB) heißt der Halbmesser des Spiegels; DA oder BD ist seine halbe Breite oder Öffnung. Der Punkt F, welcher den Halbmesser DC halbirt, heißt (aus Gründen, die sich in der Folge zeigen werden) der Brennpunkt; und sein Abstand vom Spiegel, nämlich $DF = \frac{1}{2}DC$, heißt die Brennweite des Spiegels.

Alle diese Kunstwörter und Begriffe gelten von allen Arten sphärischer Spiegel.

Ist aber der Spiegel AB auf der innern Seite polirt, so heißt er ein concaver, oder ein Sammel-Spiegel. Der Grund der letztern Benennung liegt darin, weil die Strahlen, welche, wie PA, mit der Achse parallel auffallen, sich in dem Punkte F durchkreuzen oder sammeln, wie in der Anm. zu diesem §. gezeigt werden soll. Den Brennpunkt und die Brennweite eines solchen Spiegels betrachtet man als positiv.

Ist aber die äußere Fläche von AB die spiegelnde, so heißt der Spiegel ein convexer oder ein Zerstreuungs-Spiegel. Der Grund der letztern Benennung ist, weil alle Strahlen, die wie QA parallel mit der Achse auffallen, durch die Reflexion so zerstreut werden, als kämen sie aus dem Brennpunkte F. Da aber der Brennpunkt F und die Brennweite DF von einem solchen Spiegel hinter der spiegelnden Fläche liegen, so betrachtet man sie als negativ.

Wir fügen noch den Beweis hinzu, daß die Richtung aller reflectirten Strahlen durch die Mitte von DC geht, wenn die einfallenden Strahlen der Achse parallel sind; bemerken aber vorläufig, daß der Satz (wie eigentlich alle Sätze der Elementar-Optik) nicht absolut, sondern nur bedingt genau ist. Er nähert sich nämlich der Genauigkeit desto mehr, je näher die auffallenden Strahlen bei der Achse sind.

Wenn AB Fig. 91. einen concaven Spiegel vorstellt, und PA ein der Achse parallel einfallender Strahl ist, so findet man die Lage des reflectirten (nach §. 4.), wenn man den Winkel CAF = CAP macht. Ist AB ein convexer Spiegel, und QA ein mit der Achse parallel einfallender Strahl, so verlängere man CA beliebig nach S; und mache SAR = SAQ, so ist RA (nach §. 4.) der reflectirte Strahl, der rückwärts verlängert durch F geht. In beiden Fällen erhält man dasselbe Dreieck FAC, dessen Winkel bei A und C, wie leicht einzusehen ist, gleich sind. Daher ist genau FA = FC. Wäre nun auch genau FA = FD, so wäre DC in F halbirt. Es ist aber eigentlich FA > FD, doch ist der Unterschied in allen Fällen klein, und zwar desto kleiner, je kleiner der Winkel AFD, oder seine Hälfte ACD ist, d. h. je näher der Einfallspunkt A bei D liegt. Je kleiner daher der Winkel ACD oder sein Maaß, der Bogen DA ist, um so genauer liegt F in der Mitte von DC.

Anm. 1. Man sieht hieraus, daß die parallelen Strahlen eigentlich nicht genau in einen Punkt gesammelt, oder aus einem Punkte zerstreut werden; sondern daß es nur ein sehr kleiner Raum ist, innerhalb dessen sich die Richtungen der reflectirten Strahlen durchkreuzen. Aber dieser ist für das Auge als ein wirklicher Punkt zu achten. (Man vergl. die Anm. zu XLV. §. 9.)

2. Wenn man eine Glasscheibe auf einer Seite, oder auf beiden Seiten, sphärisch schleift und polirt, und dann die eine Seite mit Zinn-Amalgam belegt, so bringt der Spiegel ähnliche Erscheinungen hervor, als ein sphärischer Metallspiegel. Ist das Glas in der Mitte dicker als am Rande, so kann es die Stelle eines concaven, ist es aber in der Mitte dünner, die Stelle eines convexen Spiegels vertreten. Wo nicht große Genauigkeit erfodert wird, können solche Spiegel, da sie viel wohlfeiler und leichter zu verfertigen sind, wohl die Stelle der Metallspiegel vertreten.

Man kann auch Glasspiegel machen, die eine eben so genaue Wirkung als Metallspiegel hervorbringen, aber nur ein sehr geschwächtes Licht geben, wenn man die eine Seite einer Glasscheibe eben und matt schleift, und sie mit einer schwarzen Farbe überzieht, so daß sie gar nicht spiegeln kann. Wird dann die andere Seite concav oder convex geschliffen,

so spiegelt dieser allein. Man nennt solche Spiegel Tusch-Spiegel.

Entstehung der optischen Bilder bei sphärischen Spiegeln.

§. 9. Wir haben oben (§. 6.) gezeigt, wie die optischen Bilder bei ebenen Spiegeln entstehen. Im Grunde entstehen alle optische Bilder, die man durch alle Arten von Spiegeln oder Gläsern hervorbringen kann, auf ganz ähnliche Art.

Da sphärische Spiegel nicht leicht eine andere als kreisrunde Gestalt haben, so hat die von einem strahlenden Punkte auf einen Spiegel fallende Lichtmasse allezeit die Gestalt eines Kegels, dessen Spitze der strahlende Punkt, dessen Grundfläche der Spiegel, und dessen Achse der Hauptstrahl ist, der von dem strahlenden Punkte aufs optische Centrum fällt.

Was aber das reflectirte Licht betrifft, so hat auch dieses immer die Gestalt eines Kegels, dessen Grundfläche der Spiegel, dessen Spitze das optische Bild des strahlenden Punktes, und dessen Achse der reflectirte Hauptstrahl ist, dessen Lage sich in jedem Falle leicht finden läßt, weil er (nach §. 4.) mit der Achse allezeit einen eben so großen Winkel machen muß, als auf der andern Seite der einfallende Hauptstrahl mit derselben macht.

Das Unterscheidende bei sphärischen Spiegeln liegt aber darin, daß die Spitze des reflectirten Lichtkegels nicht immer, wie bei ebenen Spiegeln, hinter dem Spiegel, sondern eben so oft auch vor denselben liegt, und zwar in sehr verschiedener Entfernung, welche in gewissen Fällen unendlich groß sein kann; weil nämlich

in gewissen Fällen das reflectirte Licht parallel wird, also eigentlich die Gestalt eines Cylinders hat, den man aber jederzeit als einen Kegel von unendlicher Länge betrachten darf.

Wir werden daher in den folgenden §§. zeigen, daß sich die Entstehung der optischen Bilder durch sphärische Spiegel auf völlig deutliche Begriffe zurückführen läßt, selbst ohne tiefere mathematische Erörterungen, wenn man von folgenden zwei Voraussetzungen ausgeht, die sich durch die vollkommenste Übereinstimmung aller Folgerungen mit der Erfahrung als richtig bewähren, die wir aber noch am Ende dieses Capitels durch Rechnung genau bestimmen, und außer allen Zweifel setzen werden.

Die erste Voraussetzung ist: daß das von einem Punkte kommende und vom Spiegel reflectirte Licht allezeit die Gestalte eines Kegels habe, dessen Spitze daher nothwendig irgendwo in dem reflectirten Hauptstrahle liegen muß.

Die zweite ist: daß die Spitzen dieser Kegel, als die optischen Bilder einzelner strahlender Punkte, gegen einander eine ähnliche Lage haben, als die Punkte des Gegenstandes; woraus folgt, daß, wenn ein Gegenstand durch eine auf der Achse senkrechte Linie vorgestellt wird, auch sein Bild eine solche Linie sei.

Zu mehrerer Deutlichkeit betrachte man die drei Figuren 92. 93. 94. In allen dreien ist AB der Durchschnitt des Spiegels, D der optische Mittelpunkt, DI die Achse, E ein strahlender Punkt, also ED der einfallende Hauptstrahl. In allen dreien ist ferner angenommen EDH = HDO; daher ist die unendliche DO die Richtung des reflectirten Hauptstrahles, worin die Spitze des reflectirten Kegels, also das optische Bild des Punktes E, liegen muß.

In Fig. 92. ist angenommen, daß das zurückstrahlende Licht NABM so divergire, daß sich die rückwärts verlängerten Strahlen in e schneiden. Hier ist also das optische Bild von E. Auf ähnliche Art hat der strahlende Punkt H sein optisches Bild in h, und der ganze Gegenstand EG sein Bild in eg, welches also unter den gemachten Voraussetzungen hinter dem Spiegel, entfernter, vergrößert, und aufrecht steht.

In Fig. 93. ist das reflectirte Licht AeB als convergirend angenommen. Das optische Bild von E liegt in e, von wo aus das Licht MeN wieder divergirt. Das Bild des ganzen Gegenstandes EG ist eg; also hier vor dem Spiegel in freier Luft, entfernter, vergrößert, aber verkehrt.

In Fig. 94. wird angenommen, daß das reflectirte Licht NABM parallel sei. Denkt man sich nun die äußersten Strahlen Nn und Mm auf beiden Seiten ohne Ende verlängert, so ist bekannt, daß man mit gleichem Rechte sagen kann, entweder, sie treffen nirgend, oder sie treffen auf der rechten oder linken Seite in unendliche Entfernung zusammen. Daher kann man auch mit gleichem Rechte sagen, der Punkt E habe gar kein optisches Bild, oder es liege vor dem Spiegel in unendlicher Ferne unter der Achse, oder endlich, es liege in unendlicher Ferne hinter dem Spiegel über der Achse. Desgleichen: der ganze Gegenstand EG habe kein Bild, oder ein verkehrtes vor oder ein aufrechtes hinter dem Spiegel, beide in unendlicher Entfernung.

§. 10. Das optische Bild eines Punktes kann man nicht, wie den strahlenden Punkt selbst, von allen Seiten sehen, sondern nur innerhalb der von ihm ausgehenden kegelförmigen Lichtmasse. Auch muß das Auge vom Bilde mindestens in der Entfernung des deutlichen Sehens stehen, und zwar auf derjenigen Seite, wohin die Strahlen gehen. Daher kann man auch von den optischen Bildern aller der Gegenstände, die ihr Licht auf einen Spiegel werfen, nur soviel sehen, als innerhalb

eines kegelförmigen Raumes liegt, dessen Spitze das Auge, und dessen Grundfläche der Spiegel ist.

Befinden sich die optischen Bilder vor dem Spiegel in freier Luft, so kann der Beobachter der Täuschung nicht entgehen, als ob sie im Spiegel, oder vielmehr hinter demselben wären.

In Fig. 92. kann ein Auge das Bild e nur dann sehen, wenn es sich irgendwo zwischen den Linien AN und BM befindet, z. B. in O; nur muß die Entfernung Oe nicht kleiner sein, als die Weite des deutlichen Sehens. Ein Auge in P wird von allen Strahlen des kegelförmigen Raumes NABM keinen bekommen, also auch e nicht sehen. Will man also wissen, wieviel etwa ein Auge von den optischen Bildern, die sich in der Gegend eg befinden (d. h. von den Bildern derjenigen Gegenstände, die sich in der Gegend EG befinden), sehen möchte, so ziehe man aus P durch A und B Linien Pp, Pq; bloß was zwischen diesen liegt, kann ein Auge in P sehen.

In Fig. 93. würde ein Auge das optische Bild e nur sehen, wenn es sich etwa in O innerhalb des Kegels MeN befände, und Oe wenigstens der Weite des deutlichen Sehens gleich wäre. Ein Auge in P würde also von e nichts sehen, und zieht man PA und PB, so begreift man leicht, daß das Auge in P von allen in der Gegend eg befindlichen Bildern nichts sehen würde als das kleine Stück pq.

Dieses ist ein Fall, wo eine optische Täuschung in der Beurtheilung der Entfernung dessen, was man sieht, unvermeidlich ist. Denn da der Beobachter weiß, daß sich in der Gegend eg nichts körperliches befindet, und er doch, gegen den Spiegel hinblickend, etwas erblickt, was wie körperlich aussieht, aber dieses gerade, wie bei einem ebenen Spiegel nur so weit als der Umfang des Spiegels reicht, so versetzt die Einbildungskraft (ohne unser Bewußtsein) das Gesehene in den Spiegel, oder hinter denselben. Wozu noch kommt, daß diejenigen Umstände, von welchen sonst unser Urtheil über Entfernung abhängt, hier größtentheils ihre Dienste versagen. Doch giebt es einige Kunstgriffe, wodurch man anschaulich machen kann, daß solche optische Bilder

in der That außer dem Spiegel liegen. Wir begnügen uns, hier nur das bekannte Spielwerk zu erwähnen, von welchem der Ausdruck Spiegelgefecht seinen Ursprung hat.

In Fig. 94. kann eigentlich ein Auge, wenn es gegen den Spiegel sieht, von keinem einzigen Punkte des Gegenstandes EG ein deutliches Bild sehen, es stehe, wo man will. Und dieses um so weniger, da es, nach dem Spiegel blickend, gar keine Veranlassung hat, den Anblick eines sehr entfernten Gegenstandes hinter dem Spiegel zu erwarten. Daher sieht es auch nichts als einen verworrenen Lichtschein auf dem Spiegel.

§. 11. Es giebt eine sehr leichte und einfache Methode, die Lage und Größe eines optischen Bildes, also die ganze Erscheinung, welche ein Spiegel giebt, durch eine geometrische Zeichnung zu bestimmen, wenn die Brennweite des Spiegels gegeben ist, der strahlende Gegenstand aber durch eine kleine auf der Achse senkrechte Linie vorgestellt wird, deren an sich willkührliche Größe am bequemsten der Breite des Spiegels gleich genommen, und so gestellt wird, daß sie, so wie der Durchschnitt des Spiegels selbst, durch die Achse halbirt wird.

Sie beruhet auf den schon im vorigen §. erörterten, und in der Folge durch Versuche und Rechnung zu rechtfertigenden beiden Sätzen, 1) daß das von einem strahlenden Punkte kommende, und von dem Spiegel reflectirte Licht allezeit Kegelgestalt hat, und daß die Spitze des Kegels das optische Bild des Punktes ist; 2) daß, wenn der Gegenstand durch eine auf der Achse senkrechte Linie vorgestellt wird, sein optisches Bild auch eine solche ist.

Aus Nr. 1. folgt, daß man die Stelle, wo sich ein Punkt optisch abbildet, finden könne, wenn man nur die Lage von nicht mehr als zwei reflectirten Strah-

len desselben kennt; und diese kennt man, wenn die Brennweite bekannt ist. Denn einmal ist die Lage des reflectirten Hauptstrahls, wie schon im vorigen §. gezeigt worden, leicht zu finden, und dann weiß man (aus §. 8.), daß ein der Achse paralleler Strahl allezeit nach dem Brennpunkte reflectirt wird. Wo sich diese beiden Strahlen schneiden, da liegt die Spitze des reflectirten Kegels, also das gesuchte optische Bild des Punktes. Sucht man nun auf diese Art das Bild von einem Punkte, der höhstens um die halbe Breite des Spiegels von der Achse entfernt ist, und zieht aus demselben eine winkelrechte Linie durch die Achse, so stellt diese nach dem obigen zweiten Satze das Bild des ganzen Gegenstandes und die Lage desselben dar.

Zur Erläuterung betrachte man nochmals Fig. 92. Der Gegenstand ist durch die auf der Achse winkelrechte Linie EG vorgestellt, und zwar so, daß EH = HG = der halben Breite DA oder DB des Spiegels. Betrachtet man nun den äußersten Punkt E so wird sein Hauptstrahl ED durch den Punkt G nach O hin geworfen. Ist nun F der Brennpunkt, so wird der der Achse parallele Strahl EA durch den Brennpunkt F nach N hin reflectirt. Diese beide Strahlen (DO und AN) divergiren, und müssen also rückwärts verlängert werden, um den Durchschnitt ihrer Richtungen e zu finden. Hier ist also das optische Bild von E. Fällt man nun aus e die eg lothrecht durch die Achse, und macht hg = he, so ist eg das optische Bild von EG.

Anm. Dieser eben so sinnreichen als einfachen Methode hat sich, soviel dem Verfasser bekannt ist, zuerst Robert Smith in seinem System of Optiks, Cambridge 1738 bedient, welches Werk auch jetzt noch wissenschaftlichen Werth hat. Kästner hat dieses Werk unter dem Titel Lehrbegriff der Optik, Altenburg 1755 übersetzt, oder vielmehr umgearbeitet, da er überall Formeln statt Constructionen giebt, die aber den eigenthümlichen Charakter des Werkes ver-

nichten, und nicht so einfach und nett sind, daß sie den Mangel der Zeichnungen ersetzen könnten.

Erscheinungen durch Sammelspiegel.

§. 12. Da die beschriebene Zeichnungsart die Brennweite als bekannt voraussetzt, so wollen wir zuerst zeigen, wie sie für den gegenwärtigen Zweck hinlänglich genau gefunden werden könne.

Man halte den Spiegel so gegen die Sonne, daß die Strahlen derselben möglichst senkrecht auffallen. Dann entsteht im Brennpunkte ein kleines verkehrtes Sonnenbild, dessen Entfernung vom Spiegel man also zu messen hat.

Daß man das reflectirte Sonnenlicht mit einem schmalen Stäbchen, etwa von Eisen, auffangen müsse, ist leicht einzusehen. Es darf nicht viel Schatten auf den Spiegel werfen; auch kann man nicht füglich eine brennbare Materie, z. B. Holz, dazu nehmen.

Etwas genauer findet man die Brennweite, wenn man den ganzen Spiegel mit eine Scheibe von Papier bedeckt, auf dieser einen Durchmesser zieht, und in der Mitte jedes der beiden Halbmesser ein kleines Loch macht. Hält man den Spiegel dann gegen die Sonne, so werden durch die beiden Löcher nur zwei dünne Cylinder oder Kegel von Licht gegen die Achse reflectirt. Wo diese sich schneiden, da ist der Brennpunkt. Kennt man den Halbmesser des Spiegels (und diesen muß der Künstler, der ihn verfertigt hat, sehr genau angeben können), so bedarf man dieses Verfahrens nicht, da in der Anm. §. 8. gezeigt worden, daß die Brennweite dem halben Halbmesser gleich ist.

§. 13. Es sind drei Fälle einzeln zu betrachten. Der Gegenstand stehet entweder 1) innerhalb der Brennweite, oder 2) im Brennpunkte, oder 3) außerhalb der Brennweite. Im ersten Falle zeigt sich ein vergrößertes und aufrechtes Bild hinter dem Spiegel. Im zweiten

Falle ist es verschwunden oder unendlich entfernt. Im dritten zeigt es sich verkehrt vor dem Spiegel außerhalb der Brennweite.

1. Es sei AB Fig. 95. ein Sammelspiegel, C der optische Mittelpunkt, E der Brennpunkt. Innerhalb der Brennweite CE stehe der Gegenstand FG. Von seinem höhsten Punkte F fällt der Hauptstrahl FC auf den Spiegel, und wird nach G, der mit der Achse parallele Strahl FA aber wird nach E reflectirt. Erweislich ist unter den gemachten Voraussetzungen Winkel DCG > CDA; daher divergiren die reflectirten Strahlen CG und AE, und man muß sie rückwärts hinter den Spiegel verlängern, um den Durchschnittspunkt e ihre Richtungen zu finden. In e werden sich also alle von E ausgehenden Strahlen vereinigen, d. h. e ist das optische Bild von E. Zieht man also eg winkelrecht durch die Achse, und macht hg = he, so ist eg das optische Bild von EG. Es ist größer und entfernter als der Gegenstand, hat aber mit demselben gleiche (nämlich aufrechte) Lage.

Diese Erscheinung bleibt im Wesentlichen dieselbe, der Gegenstand FG stehe innerhalb der Brennweite, wo man will. Nur wird das Spiegelbild fg kleiner, und rückt näher an den Spiegel, wenn FG sich dem Spiegel nähert. Das Gegentheil geschieht, wenn sich FG entfernt. Der Punkt e aber bleibt bei allen Veränderungen in der unveränderlichen Linie Af.

Will man sich von der Richtigkeit dieser Ergebnisse durch einen Versuch überzeugen, so darf man nur einen Sammelspiegel nahe vor das Gesicht halten, und sich selbst darin betrachten, oder auch das Bild einer nahe vor dem Spiegel aufgestellten Lichtflamme. Eben diese Erscheinung ist das einfachste und sicherste Mittel, einen Sammelspiegel auf den ersten Blick von einem Zerstreuungsspiegel zu unterscheiden.

2. In Fig. 96. steht der Gegenstand FG im Brennpunkte E. Der Hauptstrahl FC wird nach CG, der parallele FA nach AE geworfen. Betrachtet man CA als gerade und senkrecht, also FACE als ein Rechteck, so ist leicht zu erweisen, daß CG und AE parallel sind. Daher ist eigentlich nirgend

ein Bild von EG; oder man darf auch sagen, entweder, das Bild sei hinter dem Spiegel unendlich entfernt, unendlich groß, und aufrecht, oder, es sei vor dem Spiegel unendlich entfernt, unendlich groß, aber verkehrt.

Stellt man eine Lichtflamme in den Brennpunkt, so sieht man im Spiegel nichts als einen gestaltlosen Lichtschein, und vor dem Spiegel an der gegenüberliegenden Wand eben so einen hellen Schein ohne deutliche Umrisse.

Anm. Da das reflectirte Licht einer Lichtflamme, die im Brennpunkte oder auch ein wenig näher bei dem Spiegel steht, sich im Fortgange nur wenig ausbreitet, so kann man einen hellen Schein dadurch auf beträchtliche Weiten fortpflanzen. Ein zu diesem Zweck benutzter Spiegel heißt ein Erleuchtungs-Spiegel. Man macht ihn in dieser Absicht möglichst breit, also stark gekrümmt; auch erfodert er keine so genaue Bearbeitung und Politur, als wenn man deutliche Bilder zu erhalten sucht.

3. Steht endlich der Gegenstand FG Fig. 97. außer dem Brennpunkt E, so wird wieder der Hauptstrahl FC nach CG, der parallele FA nach AE reflectirt. Diese Strahlen (CG und AE) convergiren vor dem Spiegel, wie sich leicht aus Vergleichung der Wechselwinkel AEC und ECG beweisen läßt. Verlängert man sie also, bis sie sich in f schneiden, zieht fg winkelrecht, und macht hg = hf, so ist fg das optische Bild von FG, welches allezeit die umgekehrte Lage von FG hat. Was aber die Größe und Entfernung betrifft, so sind die Veränderungen derselben leicht zu übersehen, wenn man nur bemerkt, daß die Lage des Strahles Af unveränderlich ist, und daß f allezeit in dieser Linie liegt. Ist FG nahe am Brennpunkte, so ist das Bild sehr entfernt und groß; steht FG gerade in der doppelten Brennweite, so fällt Bild und Gegenstand zusammen; steht endlich FG außer der doppelten Brennweite, so rückt das Bild immer näher zum Brennpunkt E, und wird also kleiner als der Gegenstand. Rückt man den Gegenstand in eine unermeßliche Ferne hinaus, so fällt das Bild als ein bloßer Punkt in E zusammen, wofern der Gegenstand so klein ist, daß er dem bloßen Auge nur (wie ein Fixstern) als ein bloßer Punkt erscheinen würde, weil dann alle Strahlen, die auf den Spiegel fallen, als parallel zu betrachten sind.

Erscheint er aber (wie Sonne und Mond) noch unter einem meßbaren Winkel, so hat auch sein im Brennpunkt entstehendes Bild noch eine meßbare Größe. Hierauf gründet sich die Bestimmung der Brennweite nach §. 12.

Will man sich durch die Beobachtung von der Richtigkeit dieser Erklärungen überzeugen, so kann zwar der Beobachter, wenn er in der nöthigen Entfernung hinter fg steht, einen Theil dieses Bildes sehen; aber es trifft dabei allezeit die schon §. 10. erörterte Täuschung ein, als ob sich das verkehrte Bild, welches man sieht, im Spiegel, oder hinter demselben befände. Ist aber das Bild nur stark genug erleuchtet, und man hält eine weiße Fläche an die Stelle desselben, so daß die Spitzen der reflectirten Kegel auf die Fläche fallen, so zeigt sich das Bild desto deutlicher auf derselben, je genauer man durch Probiren die Stelle des Bildes getroffen hat. Dieses beweiset nicht nur auf eine unzweideutige Art die Richtigkeit der gegebenen Erklärung, sondern auch die Richtigkeit der §. 11. gemachten Voraussetzung, daß das reflectirte Licht, so fern es von einem Punkte des Gegenstandes kommt, kegelförmige Gestalt habe, weil die Entstehung eines solchen Bildes auf der auffangenden Fläche nur unter dieser Voraussetzung denkbar ist. Wie sich dieses theoretisch erweisen lasse, soll in den letzten §§. dieses Capitels gezeigt werden.

§. 14. Die negative Brennweite eines Zerstreuungs-Spiegels läßt sich nicht unmittelbar messen, aber durch ein ähnliches Verfahren, als in der Anmerkung zu §. 12. mittelbar finden.

Man bedeckt nämlich den ganzen Spiegel mit einer Scheibe von Papier, zieht auf dieser einen Durchmesser, und macht in der Mitte jedes der beiden Halbmesser ein kleines Loch. Dann nimmt man einen schmalen geraden Stab, trägt auf diesen die Entfernung der Mittelpunkte beider Löcher zweimal, und bezeichnet deutlich die Endpunkte dieser verdoppelten Entfernung. Dann hält man den Spiegel gegen die Sonne, so kommen aus beiden Löchern zwei dünne Cylinder oder Kegel von reflectirten Strahlen, die

ihre Richtung von dem Brennpunkte her haben, also aus einander laufen. Man sucht nun dies reflectirte Licht mit dem Stabe aufzufangen, und wenn die beiden dann sichtbar werdenden Lichtkreise sich auf den Endpunkten der abgemessenen Linie befinden, also doppelt so weit als die Löcher entfernt sind, so ist die Entfernung des Stabes vom Spiegel der Brennweite desselben gleich; wie man sich durch Hülfe einer kleinen Zeichnung leicht deutlich machen wird.

Anm. Es ist leicht einzusehen, daß diese Methode keine große Genauigkeit verspricht. Es ist aber für den gegenwärtigen Zweck völlig hinreichend, die Brennweite nur ungefähr zu kennen. Die mathematischen Zusätze werden Ideen zu genaueren Bestimmungen an die Hand geben. Kennt man den Halbmesser des Spiegels, so weiß man aus Anm. zu §. 8., daß die Brennweite der Hälfte desselben gleich ist.

Erscheinungen durch Zerstreuungs-Spiegel.

§. 15. Die Erscheinungen, welche der Zerstreuungsspiegel zeigt, wenn ein wirklicher strahlender Gegenstand vor ihm steht, sind viel einfacher, als bei einem Sammelspiegel. Der Gegenstand stehe, wo man will, so befindet sich sein Bild allezeit hinter dem Spiegel, es ist aufrecht, und kleiner als der Gegenstand, und zwar um desto kleiner, je entfernter der Gegenstand ist. Seine Stelle aber hat es in jedem Falle zwischen dem Spiegel und seinem Brennpunkte, dem es immer näher rückt, je entfernter der Gegenstand ist. Bei unverhältnißmäßig großer (eigentlich unendlicher) Entfernung ist es im Brennpunkte selbst.

In Fig. 98. stellt AB einen auf seiner convexen Seite polirten Spiegel vor; der optische Mittelpunkt ist C; der negative Brennpunkt E; und FG der strahlende Gegenstand. Der Hauptstrahl FC wird nach G geworfen, der parallele FA in der Richtung AI, als käme er aus E. Daß AI und CG divergiren, ist unmittelbar klar. Verlängert man beide rückwärts, so schneiden sie sich in f. Und zieht

man fg, so daß fh = hg, so ist fg das optische Bild von FG, und es ist offenbar so beschaffen, wie es der §. angiebt. Rückt man FG näher zum Spiegel, so rückt auch das Bild näher und wird größer. Entfernt man FG, so erfolgt das Umgekehrte. Aber wo auch FG stehe, das Bild f seines äußersten Punktes bleibt immer in der unveränderten Linie Ef, so daß endlich, bei sehr großer Entfernung des Gegenstandes, das Bild in den Brennpunkt selbst fällt. Wäre der Gegenstand so klein, daß ihn das Auge nur als einen Punkt sähe, so würde auch sein Bild nur ein Punkt in E sein. Erscheint er aber dem Auge unter einem meßbaren Winkel, so hat auch das Bild einen wahrnehmbaren Durchmesser. Hält man daher einen solchen Spiegel gegen die Sonne, so erblickt man in E ein kleines aufrechtes Sonnenbild.

Anm. Wir müssen hiebei noch einer optischen Täuschung erwähnen, welche nicht leicht einem Beobachter entgehen kann. Betrachtet man eine ganze Landschaft in einem solchen Spiegel, so erblickt man in demselben gleichsam ein Miniatur-Gemälde der Gegend. Aber man wird sich schwerlich überreden können, daß die sämmtlichen Bilder, die man sieht, in keiner größeren Entfernung hinter dem Spiegel liegen, als der Brennpunkt.

Mathematische Zusätze.

§. 16. Wir haben bis jetzt alle Erklärungen aus zwei im 9ten §. bestimmt ausgesprochenen Voraussetzungen abgeleitet, deren Richtigkeit wir nur dadurch gleichsam verbürgt haben, daß alle daraus abgeleitete Folgerungen vollkommen mit der Beobachtung übereinstimmen. Es hat aber gar keine Schwierigkeit, diese Sätze auch auf eine völlig genügende Art aus dem Grundgesetze der Katoptrik (§. 4.) abzuleiten.

Zu einer vorläufigen Übersicht der Theorie bemerken wir, daß wir folgendes zu erweisen haben. 1) Daß die von einem Punkte ausgehenden Strahlen, durch die Reflexion wieder die Gestalt eines Kegels annehmen, dessen Spitze irgendwo in dem reflectirten Hauptstrahle liegt. Der Ort dieser Spitze ist zu bestimmen. Auch muß der Satz sowohl für den Fall ausgeführt werden, wenn der strahlende Punkt in der Achse, als wenn

er außer derselben liegt, doch im letzten Falle nur unter der Bedingung, daß der einfallende Hauptstrahl einen kleinen Winkel mit der Achse macht. 2) Wir werden ferner zeigen müssen, daß das Bild durch eine auf der Achse senkrechte Linie vorgestellt werden müsse, wenn der Gegenstand durch eine solche vorgestellt ist, und daß überhaupt das Bild dem Gegenstände ähnlich sei.

Schon aus dieser Übersicht kann man erwarten, daß sich die Theorie auf einige wenige Hauptsätze zurückführen läßt.

§. 17. Aufgabe. In der Achse DE Fig. 99. eines Sammelspiegels ADB, dessen geometrischer Mittelpunkt C ist, befindet sich ein strahlender Punkt E. Ein von ihm kommender Strahl EA wird von dem Spiegel in der Richtung AF reflectirt. Man setze des Spiegels Brennweite $\frac{1}{2}DC = p$, die Entfernung des Punktes E, $DE = a$, die Entfernung, in welcher der reflectirte Strahl die Achse schneidet, $DF = \alpha$. Es ist eine Gleichung zwischen p, a und α zu finden; unter der zur Deutlichkeit nothwendigen Voraussetzung, daß die spitzigen Winkel bei F, C, E klein sind, und daher AD sehr wenig gekrümmt ist.

Auflösung. Zieht man den Halbmesser CA, so steht dieser bei A auf dem Spiegel lothrecht und ist das Einfallsloth. Legt man also an AC einen Winkel $CAF = CAE$, so ist AF die Lage des reflectirten Strahles. Nun ist im Dreiecke ACF der Winkel $FAC = AFD - ACD$, und im Dreieck ACE der Winkel $CAE = ACD - AED$; folglich

$$AFD - ACD = ACD - AED,$$

$$\text{(A) oder } 2\,ACD = AFD + AED.$$

Da aber zur Deutlichkeit, wie schon §. 8. erinnert worden, erfoderlich ist, daß der Bogen DA sehr wenig gekrümmt, und die Winkel bei F, C und E sehr klein sein, so kann ohne erheblichen Fehler DA für eine senkrechte gerade Linie genommen werden; und da die Tangenten kleiner Winkel sehr genau ihren Bogen proportional sind, so darf man setzen

$$\text{Tang } ACD = \frac{AD}{DC} = \text{Winkel } ACD,$$

$$\text{Tang AFD} = \frac{AD}{FD} = \text{Winkel AFD},$$

$$\text{Tang AED} = \frac{AD}{DE} = \text{Winkel AED}.$$

Setzt man nun in der Formel (A) statt der Winkel die ihnen gleichen Quotienten, und dividirt alle Glieder durch AD, so ergiebt sich

$$(B) \qquad \frac{2}{DC} = \frac{1}{FD} + \frac{1}{DE}.$$

Da nun $DC = 2p$, $DE = a$ und $FD = \alpha$, so ergiebt sich:

$$(C) \qquad \frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha};$$

welches die gesuchte Gleichung ist.

Anm. 1. Diese Formel ist unendlich fruchtbar, indem sich nach und nach zeigen wird, daß sich alle Erscheinungen sphärischer Spiegel und Gläser nach derselben beurtheilen lassen. Es ist daher nützlich, den Sinn dieser Fundamental-Formel auch an einen kurzen wörtlichen Ausdruck zu knüpfen. Zu dem Ende bemerke man, daß man die beiden Entfernungen DE und DF Vereinigungsweiten zu nennen pflegt, und dann läßt sich der Sinn der Formel kurz und bestimmt so aussprechen: der umgekehrte Werth der Brennweite ist gleich der Summe von den umgekehrten Werthen der beiden Vereinigungsweiten.

2. Da eine Größe und ihr umgekehrter Werth in einem so einfachen Verhältnisse gegen einander stehen, daß, wenn eins von beiden gegeben ist, auch das andere als gegeben zu achten ist, so lasse man die Gleichung in ihrer ursprünglichen höhst einfachen Gestalt. Soll also α gefunden werden, so hat man:

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a},$$

und aus dem gefundenen Werthe von $\frac{1}{\alpha}$ suche man durch eine kleine Nachrechnung α selbst.

Gesetzt es wäre $p = 6$ Zoll, $a = 3\frac{1}{2} = \frac{7}{2}$ Zoll, so hat man $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{6} - \frac{2}{7} = -\frac{5}{42}$; also $\alpha = -\frac{42}{5} = -8\frac{2}{5}$. Das Vorzeichen — deutet an, daß in diesem Falle der Punkt E nicht vor, sondern 8,4 Zoll hinter dem Spiegel liegt.

3. Regelmäßig gebildete Näherungs-Formeln müssen unter bestimmten Bedingungen genau, unter andern mehr oder minder abweichend sein. Die Bedingung, unter welcher die Formel $\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ als genau betrachtet werden muß, ist, daß DA, folglich auch die spitzigen Winkel bei C, E und F, unendlich klein sein, d. h. daß die Strahlen unendlich nahe bei der Achse einfallen. Denn alsdann hört der Unterschied zwischen Krumm und Gerade völlig auf, und die Tangente ist ihrem Bogen gleich. Ist also DA nur sehr (nicht unendlich) klein, so nähert sie sich der absoluten Genauigkeit desto mehr, je kleiner DA ist. Und da die Größe DA ganz aus der Rechnung ausgefallen ist, so folgt, daß der Einfluß von DA auf den Werth von α überhaupt gering sei, wenn nur DA klein ist. Doch läßt sich durch genauere Rechnung zeigen, daß der Fehler für die Sinne kaum bemerkbar ist, wenn auch DA die Größe von ein Paar Graden hätte.

§. 18. Da die Größe von DA auf den Werth von α oder DF nur einen geringen Einfluß hat, so folgt, daß alle aus E auf den Spiegel fallenden Strahlen sich in einem so kleinen Raume bei F durchschneiden, daß derselbe für die Sinne als ein Punkt betrachtet werden kann. Das reflectirte Licht bildet also einen Kegel, dessen Spitze F ein optisches Bild von E ist; welches in dem reflectirten Hauptstrahle liegt, der in diesem Falle mit der Achse zusammenfällt. Dieses ist also ein Theil dessen, was nach §. 16. zu erweisen war.

§. 19. Noch bemerke man, daß die Gleichung $\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ nicht bloß für den in Fig. 99. zum Grunde gelegten Fall, sondern auf alle erdenkliche Fälle anwendbar ist, wo ein einfallender Strahl auf einen convexen oder concaven Spiegel trifft, und seine Richtung zugleich die Achse unter einem kleinen Winkel in einem gegebenen Punkte durchschneidet, und nun der Punkt gesucht wird, wo der reflectirte Strahl die Achse schneidet.

Liegt der Durchschnittspunkt E des einfallenden Strahles GA Fig. 100. mit der Achse hinter dem Spiegel, so ist der Werth von a negativ, also $\frac{1}{p} = -\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$; und daher

$$\frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{p} + \frac{1}{a}.$$

Ist der Spiegel concav, so hat p einen negativen Werth. Es ist also $-\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$, und daher $\frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{p} - \frac{1}{a}$.

Entsteht für α = DF ein negativer Werth, so liegt der Punkt F in der durch die Formel bestimmten Entfernung hinter dem Spiegel.

§. 20. Aufgabe. Es sei G Fig. 101. ein strahlender Punkt außer der Achse des concaven Spiegels ADB. Die Lage des Punktes G ist beliebig, nur müssen alle von ihm auf den Spiegel fallende Strahlen kleine Winkel mit der Achse machen. Von G wird der Hauptstrahl GD nach I unter gleichem Winkel nach der andern Seite der Achse geworfen. Ein anderer beliebiger Strahl GA falle auf den Spiegel in A, und werde so reflectirt, daß er den reflectirten Hauptstrahl in H schneidet. Es soll die Lage des Punktes H bestimmt werden, wenn die Lage des Punktes G und die Brennweite des Spiegels gegeben sind.

Auflösung. Man fälle aus G das Loth Gg auf die Achse, und die Lage des Punktes G sei gegeben durch die Abscisse Dg = a und die Ordinate Gg = b. Eben so fälle man aus H das Loth Hh, so ist zu bestimmen die Abscisse Dh = α, und die Ordinate Hh = β.

1. Die Abscisse Dh erhält man, wenn p des Spiegels Brennweite ist, durch die Grundgleichung (§. 17.)

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}.$$

2. Die Ordinate Hh aber durch die Proportion

$$a : \alpha = b : \beta.$$

Beweis. 1. Um die Lage des reflectirten Hauptstrahls durch Zeichnung zu finden, muß Winkel gDH = gDG gemacht werden. Und um die Lage des reflectirten Strahles AH, und den Durchschnittspunkt H mit dem vorigen reflectirten Strahle DH eben so zu finden, muß man aus dem geometrischen Mittelpunkte C das Einfallsloth CA ziehen, und den Winkel CAH = CAG machen. Nach Zeichnung des Lothes Hh, verlängere man den Strahl AG, bis er vor oder hinter dem Spiegel die Achse schneidet. Bloß, um die Grundgleichung (§. 17.) ohne Änderung der Vorzeichen anwenden zu können, ist in der Figur angenommen, daß dieses vor dem Spiegel in E geschehe. Dann kann man den Strahl GA betrachten, als komme er aus dem Punkte E. Schneidet nun der reflectirte Strahl die Achse in F, so hat man nach §. 17.

$$(A)\quad \frac{1}{p} = \frac{1}{DE} + \frac{1}{DF}.$$

Nimmt man nun DA, da es nur wenig gekrümmt sein darf, für eine gerade und senkrechte Linie, so sind die Dreiecke DAE und gGE ähnlich, und man hat also

$$AD : Gg = DE : gE;$$ woraus folgt

$$AD - Gg : AD = Dg : DE;$$ daher

$$(B)\quad \frac{1}{DE} = \frac{AD - Gg}{AD \,.\, Dg} = \frac{1}{Dg} - \frac{Gg}{AD \,.\, Gg}.$$

Ferner sind ähnlich die Dreiecke ADF und HhF; daher

$$AD : Hh = DF : hF;$$ und

$$AD + Hh : AD = Dh : DF;$$ also

$$(C)\quad \frac{1}{DF} = \frac{AD + Hh}{AD \,.\, Dh} = \frac{1}{Dh} + \frac{Hh}{AD \,.\, Dh}.$$

Setzt man nun die Werthe (B) und (C) in (A), so erhält man

$$(D)\quad \frac{1}{p} = \frac{1}{Dg} + \frac{1}{Dh} + \frac{1}{AD}\left(\frac{Hh}{Dh} - \frac{Gg}{Dg}\right).$$

Es sind aber auch die Dreiecke DHh und DGg ähnlich, und daraus ergiebt sich

(E) $Dh : Hh = Dg : Gg$; also ist

$$\frac{Hh}{Dh} = \frac{Gg}{Dg} \text{ und } \frac{Hh}{Dh} - \frac{Gg}{Dg} = 0,$$

also das ganze letzte in (D) $= 0$. Folglich

$$(F)\quad \frac{1}{p} = \frac{1}{Dg} + \frac{1}{Dh} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha};$$

welches das erste zu erweisende war.

2. Schreibt man die Proportion (E) in den oben erklärten algebraischen Zeichen, so ist

(G) $a : \alpha = b : \beta$;

welches das zweite war.

§. 21. Zusatz. Da in der Formel (A) des vorigen §. DA nicht vorkommt, so folgt, daß nicht bloß der Strahl GA, sondern alle von G auf den Spiegel fallende Strahlen, den reflectirten Hauptstrahl DH in H schneiden werden, und daß folglich auch das von einem Punkt außer der Achse kommende Licht durch die Reflexion die Gestalt eines Kegels erhalte, dessen Spitze in dem reflectirten Hauptstrahle liegt; und hiemit ist ein Haupttheil der gemachten Voraussetzungen (§. 16.) hinreichend erwiesen.

Da ferner in der Gleichung (A) auch Gg nicht vorkommt, so folgt, daß, wenn Gg einen strahlenden Gegenstand vorstellt, jeder Punkt desselben sein Bild in der Linie Hh habe; also Hh das optische Bild von Gg sein wird. Und hiemit sind alle Annahmen, die wir in diesem Capitel bloß durch die Übereinstimmung mit der Beobachtung verbürgt hatten, auch theoretisch gerechtfertigt.

Anm. Man übersehe nicht, daß alle Schlüsse nur dann sich hinlänglich der Genauigkeit nähern, um Bilder hervorzubringen, welche das Auge für deutlich anerkennt, wenn überall die Strahlen keine großen Winkel mit der Achse machen. Auch kann man sich leicht überzeugen, daß die Hauptgleichung in der Anwendung auf strahlende Punkte außer der Achse noch etwas mehr von der Genauigkeit abweiche, als bei strahlenden Punkten in der Achse, weil in dem Beweise (§. 20.) die nur beinahe richtige Annahme, daß DA als gerade betrachtet werden könne, nochmals wiederholt werden mußte. Hieraus folgt aber, daß das optische Bild, welches ein sphärischer Spiegel giebt, nicht überall gleiche Deutlichkeit habe. Am schärfsten sind die Bilder in und nahe bei der Achse, und von da nimmt die Schärfe gegen den Rand hin ab. Bei sehr schrägem Lichte, welches große Winkel mit der Achse macht, kann der Spiegel nur undeutliche und verzogene Bilder geben, welches alles mit der Erfahrung genau übereinstimmt.

Daß aber in der Nähe der Achse die optischen Bilder dem Gegenstande ähnlich, also nicht verzogen sind, ergiebt sich daraus, weil nach §. 20 und 21. der Gegenstand zum Bilde das unveränderliche Verhältniß $a : \alpha$ hat. Folglich haben auch alle zusammengehörigen Theile beider dasselbe Verhältniß, und sind also einander ähnlich.

§. 22. Aus allem bisherigen ergiebt sich, daß man unter a und α nicht bloß Abstände der Punkte vom Spiegel, sondern die auf die Achse gemessenen Abstände des Gegenstandes und des Bildes verstehen könne.

Hierauf beruhet eine einfache Methode, die Brennweite eines Spiegels zu finden, welche in der Ausführung eine ziemliche Genauigkeit verstattet. Man richte den Spiegel gegen ein Fenster, gegen eine Lichtflamme, oder gegen irgend eine Ge-

genstand, dessen Entfernung sich messen läßt, so hat man a. Sucht man dann so genau als möglich die Stelle des Bildes, und mißt seine Entfernung, so hat man auch α, und nun nach der Grundgleichung

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}.$$

Siebenundvierzigstes Capitel.

Von der Brechung des Lichtes in durchsichtigen Körpern; oder erste Gründe der Dioptrik.

§. 1. Alle Luftarten, die meisten tropfbaren und sehr viele feste Körper sind durchsichtig. Und vielleicht giebt er keinen einzigen Körper der nicht einen gewissen Grad von Durchsichtigkeit hätte, da selbst das so dichte und in grössern Massen völlig undurchsichtige Gold, in den feinen Blättchen, welche die Goldschläger daraus verfertigen, eine gewisse Durchsichtigkeit zu haben scheint. Die meisten durchsichtigen Körper lassen das Licht ungeändert, d. h. in seiner ursprünglichen Farbe, die es vor dem Durchgang hatte, hindurch. Viele lassen aber auch nur gewisse Farben des Lichts hindurch, und erscheinen daher selbst als gefärbt. Es giebt sogar Körper, welche eine andere Farbe zurückwerfen, und eine andere durchlassen, z. B. Lackmus-Tinctur, Goldblättchen, milchweißes Glas, wenn es dünn ist, u. dgl. m.

§. 2. Zur vollkommenen Durchsichtigkeit gehört bei tropfbaren und festen Körpern, daß ihre Oberfläche vollkommen polirt sei. Bei tropfbaren Körpern bringt die Schwere selbst nach den Gesetzen der Hydrostatik die vollkommene Politur der Oberfläche hervor. Bei festen Körpern bewirkt zwar die Natur in den Krystallisatio-

nen auch eine gewisse Politur; die brauchbarste Politur ist indessen doch Sache der Kunst. Fehlt einem durchsichtigen Körper die Politur, so ist er zwar durchscheinend, aber nicht durchsichtig.

Das Grundgesetz der Dioptrik.

§. 3. Die Erklärung aller Erscheinungen der Durchsichtigkeit beruht auf folgendem Gesetz:

Wenn ein Lichtstrahl aus einem durchsichtigen Mittel in ein andres übergeht, so weicht der Strahl von seiner vorigen Richtung ab, oder wird gebrochen, und zwar so, daß wenn man sich an der Stelle des Durchgangs eine Linie senkrecht auf der brechenden Fläche vorstellet, der Strahl im dichteren Mittel allezeit mit dieser Linie einen kleinern Winkel als im dünnern, aber nach einem bestimmten Gesetze macht:

Um diesem Gesetz die nöthige mathematische Bestimmtheit zu geben, sei A Fig. 102. die Stelle, wo ein Lichtstrahl aus einem Mittel in das andere übergeht. Die Fläche, welche beide Mittel scheidet, sei entweder eine ebene BC, oder eine erhabene DE, oder eine vertiefte FG. Über derselben sei das dünnere, unter ihr das dichtere Mittel. Der einfallende Strahl sei HA. Man errichte in A das Einfallsloth IAK, und lege durch IAK und AH in Gedanken eine Ebene, so bleibt zwar der gebrochene Strahl AL in dieser Ebene, aber so, daß der Winkel KAL im dichtern Mittel kleiner ist, als der Winkel HAI im dünneren Mittel. Man beschreibe aus A mit beliebigem Halbmesser den Kreis HILK; aus den

Punkten H und L, wo der einfallende und der gebrochene Strahl den Umfang schneiden, ziehe man die Linien HM und LN senkrecht auf das Einfallsloth, so haben die Versuche gelehrt, daß diese beiden Linien, nicht die Winkel HAI, LAK, für jede zwei Mittel ein unveränderliches Verhältniß haben.

Wenn die Hypotenuse eines rechtwirklichen Dreiecks = 1 gesetzt wird, so nennt man in der Trigonometrie jede der beiden andern Seiten, in Zahlen aus dieser Einheit ausgedrückt, den Sinus ihres Gegenwinkels. So kann man hier, weil der Halbmesser willkührlich ist, also auch = 1 gesetzt werden kann, HM und LN die Sinus der Winkel HAI und LAK nennen; und das Brechungsgesetz läßt sich kurz so ausdrücken:

> Wenn ein Strahl aus einem Mittel in das andere geht, so wird er so gebrochen, daß die Sinus der Winkel, welche der Strahl in beiden Mitteln mit dem Einfallsloth macht, für jede zwei Mittel ein unveränderliches Verhältniß haben.

Dieses Verhältniß heißt das Brechungs-Verhältniß. Die Winkel HAI, LAK pflegt man nach den Mitteln zu benennen, in welchen sie sind, den Winkel in der Luft, im Wasser, im Glase ꝛc.

§. 4. Die verständlichste (wenn auch nicht genauste) Art von Versuchen über dieses Gesetz, lassen sich mit einem Glaswürfel ABCD Fig. 103. machen. Man stellt ihn auf zwei rechtwinklich zusammengesetzte Brettchen, die durch EC und CF angedeutet sind; sie müssen etwas breiter sein, als der Würfel. Setzt man diese Vorrichtung in den Sonnenschein, so daß das Licht in der Richtung GH darauf fällt, so wird der Strahl GH im

Glase nach HK gebrochen; neben dem Würfel aber geht er gerade bis F fort. Es wird also der Schatten der Vorderwand CE im Glase bis K, außer demselben bis F reichen. Zieht man nun durch H das Einfallsloth LHM, so sieht man leicht, daß der Winkel FHM dem Winkel in der Luft GHL gleich ist; und KHM ist der Winkel im Glase. Mißt man die Länge des Schattens in und außer dem Glase, so kann man daraus, durch Rechnung, oder auch durch Zeichnung beide Winkel finden. Ließe man nun das Licht nach und nach unter verschiedenen Winkeln einfallen, und entwürfe für jeden Fall eine Zeichnung wie Fig. 103, so würde man die Sinus der Winkel zeichnen, und ihr Verhältniß vermittelst eines genauen Maaßstabes finden können.

Genauere Untersuchungen können mit einem dreiseitigen Glasprisma angestellt werden, erfodern aber mehr Theorie, als wir hier voraussetzen.

Anm. Es sei K ein unter dem Würfel befindlicher sichtbarer Punkt, KH sei ein Strahl, der von demselben zur obern Fläche gelangt, und in der Luft nach G gebrochen wird, so wird ein in G befindliches Auge den gedachten Punkt nicht in K, sondern in der Verlängerung von GH, also in F, sehen. Mißt man die Linien HM, MK, MF, so können die Winkel MHK, MHF und ihre Sinus durch Rechnung oder Zeichnung gefunden, und so die Richtigkeit des Gesetzes auch ohne Sonnenlicht untersucht werden.

§. 5. Vor der Mitte des siebzehnten Jahrhunderts glaubten die Naturforscher, daß nicht die Sinus, sondern die Winkel selbst ein beständiges Verhältniß hätten. Ein Holländer Snellius war der erste, der das richtige Gesetz entdeckte. So lange indessen die Winkel IAH, LAK Fig. 102. klein sind, kann man unbedenklich den Winkeln selbst dieses Verhältniß beilegen;

und da bei genauen dioptrischen Instrumenten nie große Winkel vorkommen, so wird auch noch jetzt bei den gemeinen dioptrischen Rechnungen das Verhältniß der Winkel selbst als beständig angenommen.

§. 6. Es sind aber in Ansehung des obigen Grundgesetzes noch folgende Umstände zu bemerken:

1. Fällt ein Strahl senkrecht ein wie IA Fig. 102, so geht er ungebrochen durch. In jedem anderen Falle wird er gebrochen, und zwar um desto stärker, je schräger er einfällt.

2. Ein Lichtstrahl nimmt vor- und rückwärts einerlei Weg zwischen zwei Mitteln, d. h. wenn LA ein einfallender Strahl wäre, so würde AH der gebrochene Strahl sein.

3. Mit jeder Brechung ist auch eine Zurückstrahlung von der polirten Oberfläche BC verbunden, der Strahl gehe aus dem dünnern in das dichtere Mittel, oder umgekehrt. Es theilt sich nämlich bei A der Strahl; ein Theil desselben wird nach dem Grundgesetz der Katoptrik reflectirt (wie das Spiegeln jeder polirten Oberfläche beweiset), und der andere Theil wird nach dem Grundgesetz der Dioptrik gebrochen. Je schiefer der einfallende Strahl auffällt, desto stärker ist der reflectirte, desto schwächer also der gebrochene Theil, denn alle polirte Flächen spiegeln in schräger Richtung weit lebhafter, als wenn man senkrecht auf sie sieht. Ja wenn der einfallende Strahl im dichteren Mittel ist, und mit der Fläche einen kleinen Winkel macht, so kann es von einer gewissen Gränze an keinen Brechungswinkel im andern Mittel mehr geben, und dann wird alles Licht reflectirt. An einem Glase mit Wasser kann man deutlich sehen, daß nicht nur die obere, sondern auch die untere Seite

der Oberfläche spiegelt, und zwar die letzte lebhafter als die erste, besonders wenn man sehr schräge gegen dieselbe sieht.

4. Endlich geht bei jeder Brechung mit dem Lichte noch eine merkwürdige Veränderung vor, die wir hier bloß erwähnen, im folgenden aber genauer erörtern müssen. Der Lichtstrahl bleibt nach der Brechung eigentlich nicht mehr eine einzige gerade Linie, sondern breitet sich in eine kleine Winkelfläche aus, die in jedem Punkte ihrer Breite eine andere Farbe wahrnehmen läßt. Da indessen bei einer einzigen Brechung und in der Nähe der brechenden Fläche diese Ausbreitung nur gering ist, so werden wir in diesem Capitel darauf nicht Rücksicht nehmen, sondern den gebrochnen Strahl als eine einzige gerade Linie vorstellen.

5. Dichtere Körper brechen das Licht stärker als dünnere. Dessen ungeachtet hängt das Brechungsvermögen nicht bloß von der Dichtigkeit, sondern auch von der chemischen Beschaffenheit der Körper ab. Namentlich hat man bemerkt, daß die brennbaren Körper das Licht stärker brechen, als die nicht brennbaren. Man kennt indessen den Zusammenhang zwischen der Brechungskraft und den übrigen Eigenschaften der Körper noch so unvollständig, daß man das Brechungsvermögen für jede zwei Körper nur durch unmittelbare Versuche finden kann.

6. Die wichtigsten Brechungsverhältnisse sind die zwischen Luft und Glas, und dann zwischen Luft und Wasser. Für Luft und gemeines Glas ist das Verhältniß ungefähr 3 : 2, genauer 17 : 11; für englisches Kronglas 1,55 : 1; für englisches Flintglas 1,58 : 1. Für Luft und Wasser ziemlich ge-

nau 4 : 3. Mehrere Brechungsverhältnisse sehe man im Gehler I. 431. Fischer I. 447.

Anm. 1. Sehr merkwürdige Untersuchungen über das Brechungs-Vermögen der Körper haben die Heren Biot und Arago angestellt, und dem gelehrten Publikum in den Mémoires de l'Institut Tom. VII. mitgetheilt. Man sehe Gilberts Annalen. B. 25. S. 345. u. f. Desgleichen B. 26. S. 38. u. f.

2. Vermittelst der bei Nr. 6. angegebenen Brechungsverhältnisse läßt sich das, was unter Nr. 3. gesagt worden, genauer bestimmen. Zwischen Luft und gemeinem Glas ist das Verhältniß 17 : 11. Da nun jeder Sinus in der Luft kleiner als 1 ist, so muß jeder Sinus im Glas kleiner sein als $\frac{11}{17} = 0{,}64706$. Diese Zahl ist aber der Sinus von 40° 19′. Wäre also ein in der Luft einfallender Strahl fast der brechenden Fläche parallel, so würde doch der ins Glas gehende Theil mit dem Loth einen Winkel von weniger als 40° 19′, also mit der Glasfläche von mehr als 49° 41′ machen. Ist aber das einfallende Licht im Glase, so kann es unter jedem Winkel auf die Fläche fallen. Geschieht dieses nun unter einem Winkel, der kleiner ist als 49° 41′, so kann kein Licht in die Luft übergehen, sondern alles wird nach innen, wie in einem vollkommenen Spiegel reflectirt.

Allgemeine Erscheinungen, die von der Brechung des Lichtes abhängen.

§. 7. Wenn das Licht von durchsichtigen Körpern weder zurückgeworfen, noch gebrochen würde, so würden alle vollkommen durchsichtige und farbenlose Körper für uns unsichtbar sein. Sie sind bloß sichtbar durch das Spiegeln ihrer Oberflächen, und die veränderte Richtung, die das durchgehende Licht durch die Brechung leidet. Auf diese Art kann man selbst zwei farbenlose Flüssigkeiten, welche sich nicht mischen, wenn sie in einem Gefäß beisammen sind, dennoch genau von einander unterscheiden, wie z. B. ein farbenloses fettes Öl und Was-

ser, oder auch Äther und Wasser ꝛc. Die Luft ist unsichtbar, weil Zurückstrahlung und Brechung bei ihr unmerklich sind.

Wenn sich ein sichtbarer Körper in einem andern durchsichtigen Mittel, als das Auge, befindet, so leidet in den meisten Fällen seine scheinbare Lage eine Veränderung durch die Brechung des Lichts.

Es sei A Fig. 104. ein sichtbarer Punkt, auf dem Boden eines mit Wasser gefüllten Gefäßes BAC. Ein Strahl AD, der lothrecht auf die Wasserfläche trifft, geht ungebrochen hindurch; dies ist aber die einzige Linie, in deren Verlängerung ein Auge den Punkt A in der Richtung sieht, in der er sich wirklich befindet. Der Strahl AE aber, welcher die Wasserfläche unter einem schiefen Winkel trifft, wird in der Luft abwärts von dem Einfallsloth gebrochen, das man durch E ziehen könnte. Er geht also in der Luft fort, als käme er aus dem höher liegenden Punkt a, und hier wird ein Auge, das sich irgendwo in der Verlängerung des Strahls EF befindet, den Punkt A sehen. Da eben das, was vom Punkt A gesagt worden, von jedem andern Punkt im Boden des Gefäßes gilt, so muß der ganze Boden in die Lage BaC erhöht erscheinen. Wird ein gerader Stab GHA in das Wasser gesteckt, so muß er, so weit er im Wasser liegt, aufwärts gebrochen erscheinen, weil jeder Punkt desselben höher erscheint, als er wirklich liegt.

Wäre das Auge in A und sähe einen in der Linie EF befindlichen Gegenstand, so würde es ihn nicht in der wahren Richtung, sondern in der Verlängerung der Linie AE erblicken. Wir befinden uns am Boden unsers Luftmeers in einer ähnlichen Lage gegen die Gestirne, und die Astronomen haben längst wahrgenom-

men, daß jeder Stern, der nicht im Scheitelpunkt steht, entfernter vom Horizont erscheint, als er wirklich steht, welches man die astronomische Strahlenbrechung nennt.

Anm. Der Weg eines Lichtstrahles, der von einem Gestirn durch die Atmosphäre geht, ist eigentlich, wegen der stätig zunehmenden Dichtigkeit der Luft, nicht eine gerade, sondern stätig gekrümmte Linie, und die convexe Seite derselben ist aufwärts gekehrt, worüber die nähern Bestimmungen der Astronomie angehören. Nur in den untersten Schichten des Luftkreises finden wegen der stets darin vorgehenden Veränderungen, mannigfaltige, zum Theil umgekehrte und überhaupt sehr unregelmäßige Brechungen statt, woraus allerlei sonderbare Erscheinungen, besonders die sogenannte Luftspiegelung, entstehn. Hierüber haben wir neuerlich ein vortreffliches Werk erhalten: Récherches sur les Réfractions extraordinaires, qui ont lieu prés de l'horizont, par M. Biot; à Paris 1810 (268 S. in 4.). Über die Luftspiegelung sehe man auch Gilbert B. 34. S. 132. Eine vollständigere Erörterung dieses Gegenstandes gehört mehr in die phys. Erdbeschreibung als in die mechanische Naturlehre.

Besondere Erscheinungen durch geschliffene Gläser.

§. 8. Die Erscheinungen durch geschliffene Gläser sind zu merkwürdig, als daß wir sie übergehen dürften. Es sind aber zwei Arten von Gläsern, die wir hier durchgehen müssen: 1) Spiegelgläser mit ebenen parallelen Flächen; 2) Gläser, deren Oberflächen sphärisch gekrümmt sind. Von Gläsern mit ebenen Flächen, die aber gegen einander geneigt sind, d. h. von Glasprismen, werden wir im 49sten Capitel reden.

Plangläser mit parallelen Flächen.

§. 9. Es sei ABCD Fig. 105. der Durchschnitt eines solchen Glases, und EF ein Lichtstrahl, der auf

seine Vorderfläche fällt. Errichtet man in F das Einfallsloth GH, so wird der Strahl im Glase näher zum Loth gebrochen. Seine Richtung sei nun FI. Man errichte in I ein zweites Einfallsloth KL, welches dem ersten parallel sein wird, so wird der Strahl beim Ausgang in die Luft von dem Loth wieder abwärts in die Lage IM gebrochen. Man sieht aber sehr leicht ein, daß IM mit EF parallel sein wird. Denn da die beiden Winkel im Glase HFI und FIK gleich sind, so müssen auch die Winkel in der Luft EFG und LIM gleich sein.

Durch die Brechung in solchen Gläsern bleiben also alle ausfahrende Strahlen den einfallenden parallel. Daher muß man alle Gegenstände durch ein solches Glas gerade so sehen, als ob kein Glas da wäre. Nur wenn man sehr schräge durch ein solches Glas hindurch sieht, werden die Gegenstände ein klein wenig aus ihrer Stelle gerückt, aber ohne alle weitere Veränderung ihrer Größe und gegenseitigen Lage. In jedem anderen Falle wird die Lage des Strahles so wenig verändert, daß man ihn als ungebrochen ansehn kann.

§. 10. Obgleich ebene Metallspiegel im Ganzen zu optischen Versuchen den Glasspiegeln vorzuziehen sind, so giebt es doch Fälle (bei Spiegel-Sextanten und mehrern andern feinen Meß-Instrumenten), wo ein recht genau gearbeiteter Glasspiegel einem metallnen vorzuziehen ist. Daher wird es nützlich sein, hier die Theorie der ebenen Glasspiegel kürzlich vorzutragen.

Wir wollen zuerst annehmen, daß die beiden Flächen vollkommen eben und parallel sein. Bei den gemeinen Glasspiegeln findet man zwar selten oder nie einen Quadratzoll, der diese Bedingungen genau erfüllte. Indessen sind geschickte Künstler im Stande, wenigstens kleinere Spiegel dieser Art, die

man Parallel-Spiegel nennt, in großer Vollkommenheit zu verfertigen. Es ist daher nöthig, einen vorliegenden Spiegel mit Sicherheit prüfen zu können.

1. In Fig. 106. seien die Parallelen AB und CD die senkrechten Durchschnitte zweier parallelen und ebenen Flächen einer Glastafel, deren untere Fläche CD mit Queckſilber-Amalgam belegt ist. In E befinde sich ein strahlender Punkt, von welchem ein Strahl EF auf die obere Fläche fällt. Nach §. 6. Nr. 3. wird ein Theil dieses Strahles FG von der Oberfläche reflectirt. Zieht man nun die Linie EZ lothrecht auf die Ebenen des Spiegels, und verlängert GF rückwärts bis E′, so ist aus der Katoptrik (XLVI. 5.) bekannt, daß alles von E auf die Fläche AB fallende und unmittelbar von derselben reflectirte Licht so zurück geworfen wird, als käme es aus E′. Ein anderer Theil FH des einfallenden Strahles wird im Glase nach dem Gesetz der Dioptrik (§. 3.) gebrochen. In H wird dieser Strahl wieder nach I zurück geworfen, und hier theilt er sich wieder. Ein Theil IK geht in die Luft, und ist, wie leicht einzusehen, dem Strahle FG parallel. Verlängert man diesen rückwärts bis E″, so ist klar, daß alles von E kommende, und im Glase zweimal (bei F und I) gebrochne, und einmal (bei H) reflektirte Licht so in der Luft fortgeht, als käme es von dem Punkte E″. Es ist leicht einzusehen, wie der Weg und die Theilungen des Strahles weiter zu verfolgen sind, und man wird sich leicht überzeugen können, daß der mit FG und IK parallele Strahl MN, und alle Theile des ursprünglich von E kommenden Lichtes, die im Glase zweimal (bei F und M) gebrochen, und dreimal (bei H, I, L) reflektirt werden, so fortgehen, als kämen sie aus dem Punkte E‴. Ein vierter solcher Strahl PQ, der zweimal (bei F und P) gebrochen, und fünfmal (bei H, I, L, M, O) reflectirt wird, und alles von E kommende Licht, welches dieselben Veränderungen leidet, geht so fort, als käme es aus dem Punkte E⁗. u. s. f.

Geometrisch würde sich diese Construction zwischen den parallelen AB und CD ohne Ende fortsetzen lassen. Erwägt man aber, daß das Licht bei jeder Brechung und Zurückstrahlung geschwächt wird, so begreift man, daß schon die

Strahlen MN und PQ kaum noch lebhaft genug sein können, um von dem Auge empfunden zu werden.

Ein solcher Spiegel bringt also nicht ein Bild von E, sondern eine Reihe derselben (E′, E″, E‴, E⁗, ꝛc.) hervor. Daß diese Bilder in derselben lothrechten Linie EZ stehen, daß sie gleichweit von einander entfernt sind, und daß ihr Abstand nicht sehr groß sein wird, wenn die Spiegelplatte dünn ist, uud die von E einfallende Strahlen nicht allzuschräg auffallen, ist leicht einzusehen.

Es ist nun leicht zu beurtheilen, was ein Auge sehen wird, wenn es sich irgendwo über dem Spiegel befindet.

Reichen die Spiegelflächen bis zu der Linie EZ, und das Auge steht irgendwo in dieser Linie, so sieht es nur ein Bild, weil sich die Punkte E′, E″ ꝛc. decken. Auch nahe bei der Linie EZ wird es nur ein Bild sehen, weil die Bilder sich zwar nicht mehr vollkommen decken, aber doch so nahe beisammen erscheinen, daß man sie nicht deutlich unterscheiden kann. Dieses ist der Grund warum eine Person ihr eigenes Bild, und die dem Spiegel gegenüber liegenden Gegenstände nur einfach sieht.

Wir wollen ferner annehmen, der Punkt E stände ganz nahe über dem Spiegel, das Auge sähe aber von der andern Seite, etwa von R her in den Spiegel, so würde es drei oder vier einzelne Bilder, die in gleichem Abstand von einander liegen, deutlich unterscheiden können. Wäre die untere Fläche CD nicht belegt, so würde E′ das lebhafteste Bild sein, die folgenden aber nach der Reihe schwächer werden. Ist dagegen die untere Fläche belegt, so ist das zweite Bild E″ viel lebhafter als die übrigen. Drehte man den Spiegel in seiner eigenen Ebene herum, so wird sich in diesen Bildern, und ihrem Abstand von einander nichts ändern, vorausgesetzt, daß der Spiegel vollkommen ebene und parallele Flächen hat. Dieses ist die eine Probe, die man mit einem Parallel-Spiegel vornehmen muß, um sich von seiner Genauigkeit zu überzeugen.

Noch ist der Fall zu erwägen, wenn der Punkt E, also die ganze Linie EZ sehr weit von den Spiegel entfernt ist. Wenn mehrere aneinander liegende Lichtpunkte, wie E′, E″, E‴ ꝛc., deren Entfernung von einander vielleicht weniger

als 0,1 Zoll beträgt, aus einer Entfernung von mehreren tausend Fußen betrachtet werden, so wird selbst das schärfste Auge sie nicht mehr unterscheiden, sondern nur, wenn ihr Licht lebhaft genug ist, einen einzigen hellen Punkt sehen. Befindet sich aber der Punkt E, wie die Gestirne, in einer Entfernung von Millionen Meilen, so wird selbst ein stark vergrößerndes Fernrohr, welches gegen die Spiegelbilder gerichtet wäre, die verschiedenen Bilder schlechthin nicht mehr als verschieden zeigen können; aber wieder nur unter der Voraussetzung, daß die beiden Glasflächen vollkommen eben und parallel sind. Dieses ist das zweite Mittel, einen Parallel-Spiegel zu prüfen. Hält er beide Proben aus, so kann man von der Güte der Arbeit überzeugt sein. Aber in der reichsten Spiegel-Niederlage wird man nicht leicht einen Quadratzoll finden, der diese Proben aushielte.

2. Weichen aber beide Flächen im Ganzen, oder, was das gewöhnlichste ist, in einzelnen Stellen von der vollkommenen Ebenheit, und folglich auch vom Parallelismus nur im geringsten, und auf eine dem Auge gar nicht bemerkbare Art ab, so fallen die Erscheinungen ganz anders aus.

Die Strahlen FG, IK, MN, PQ bleiben nun nicht parallel, und die Abstände der Spiegelbilder werden ungleich. Dreht man aber den Spiegel in seiner Ebene herum, so bekommen diese Strahlen alle Augenblicke eine andere Lage. Die Spiegelbilder bewegen sich gegen einander, decken sich zum Theil, bei gewissen Lagen des Spiegels, und gehen beim Drehen wieder aus einander. Auch bei den entferntesten Gegenständen sieht man mehr als ein Bild, weil sie zum Theil sehr weit auseinander treten.

Eine vollständigere Theorie hierüber sehe man in den Abhandlungen der Berl. Akademie von den Jahren 1812. und 1813.

Sphärische- oder Linsengläser.

§. 11. Alle Arten von Vergrößerungsgläsern und Fernröhren sind für den Naturforscher unentbehrliche Werkzeuge. Sie bestehen sämmtlich aus Gläsern, von denen eine oder beide Oberflächen sphärisch gekrümmt

sind. Um die Wirkung der zusammengesetzten optischen Werkzeuge begreifen zu können, muß man daher nothwendig die Eigenschaften der einzelnen Gläser kennen, woraus sie zusammengesetzt sind.

§. 12. Obgleich die Gestalt der sphärischer Gläser viel mannigfaltiger ist, als die Gestalt der Spiegel, so lassen sie sich doch, in Ansehung ihrer wesentlichsten Eigenschaften, unter zwei Rubriken bringen. Sammelgläser, die in der Mitte dicker sind, als am Rande, und Zerstreuungsgläser, die in der Mitte dünner sind, als am Rande. Bei jeder dieser beiden Rubriken finden aber drei Unterabtheilungen statt:

1. Die Sammelgläser sind:
   a. entweder doppelt convex oder erhaben. Fig. 107. zeigt ein solches Glas im Durchschnitt. Seine Gestalt ist linsenförmig, daher man nicht nur diese Art, sondern alle sphärische Gläser, besonders die kleineren, auch Linsengläser, oder Linsen zu nennen pflegt;
   b. oder plan-convex, wie Fig. 108;
   c. oder concav-convex, wie Fig. 109. Das Wort convex muß nachgesetzt werden, weil die Convexität stärker ist, als die Concavität. Gläser dieser Art, nennt man wegen der Figur ihres Durchschnitts auch Menisken (Mondgen).

2. Die Zerstreuungsgläser sind:
   a. entweder doppelt concav oder vertieft, wie Fig. 110.
   b. oder plan-concav, wie Fig. 111.
   c. oder convex-concav, wie Fig. 112. Auch diese Gläser, bei denen das Wort concav nachge-

setzt werden muß, pflegt man wohl Menisken zu nennen.

§. 13. In Ansehung aller dieser Gläser ist im Allgemeinen folgendes zu bemerken:

1. Man giebt ihrer gekrümmten Oberfläche keine andere als kugelförmige Krümmung, aus demselben Grunde wie bei den Spiegeln. XLVI. 3.
2. Die Halbmesser der Kugeln, von welchen die Flächen Segmente sind, nennt man die Halbmesser dieser Flächen.
3. Will man deutliche Bilder erhalten, so müssen die Flächen der Gläser, wie bei Spiegeln, nie sehr große Segmente der Kugeln sein. Als Gränze kann man annehmen, daß die Sehne des Segmentes höhstens der Hälfte des kleinsten Halbmessers gleich sein dürfe.
4. In der Mitte eines jeden solchen Glases giebt es eine Stelle C (Fig. 107—112.), wo die beiden Glasflächen einander parallel sind. Diese Stelle heißt das optische Centrum des Glases. Eine Linie DE, welche hier senkrecht durch beide Flächen geht, heißt Achse des Glases. In ihr liegen die geometrischen Mittelpunkte der beiden Flächen, d. h. die Mittelpunkte F und G der Kugeln, von welchen die Flächen Segmente sind.

Aus dem Parallelismus der Glasflächen bei C läßt sich auch ohne Rechnung beurtheilen, daß Strahlen, welche nahe bei C unter einem kleinen Winkel auffallen, so gut als ungebrochen hindurch gehen (XLVII. 9.). Man nennt aber jeden solchen Strahl einen Hauptstrahl. Eine genaue Theorie des optischen Mittelpunktes findet man am Ende dieses Capitels in den mathematischen Zusätzen.

Wenn die Stelle des optischen Mittelpunktes und der Durchgang der Achse genau in der Mitte von dem äußeren Umfange des Glases liegen, so heißt das Glas richtig centrirt. Dies ist eine Eigenschaft, die keinem guten Glase fehlen darf. Die gleiche Dicke seines äußeren Umfanges ist zwar ein richtiges, aber doch nicht sehr genaues Kennzeichen dieser Eigenschaft. Das sicherste Kennzeichen ist, daß, wenn man Gläser in einem genau passenden kreisförmigen Lager umdreht, die Gegenstände, welche man durch dasselbe betrachtet, nicht im mindesten ihre scheinbare Lage verändern müssen.

5. Bei dem Gebrauche wird ein Theil des Randes allezeit mit einem kreisförmigen Ringe bedeckt, und man nennt den Durchmesser seiner Öffnung die Öffnung oder Apertur des Glases.

6. Die Vorderfläche des Glases nennt man allezeit diejenige, auf welche das Licht auffält, die andere heißt die Hinterfläche.

7. Alle Sammelgläser bringen im Wesentlichen einerlei Erscheinungen hervor; ebenso alle Zerstreuungsgläser. In besondern Fällen können besondere Arten einen Vorzug haben, der sich aber ohne mathematische Kenntnisse weder bestimmen, noch auch nur deutlich einsehen läßt. Im Allgemeinen haben die doppelt convexen und doppelt concaven, besonders wenn sie gleichseitig geschliffen sind, den Vorzug, weil sie verhältnißmäßig die größte Apertur vertragen.

8. Hält man ein Sammelglas so gegen die Sonne, daß ihre Strahlen möglichst senkrecht auffallen, so convergiren sie hinter dem Glase kegelartig bis zu einer gewissen Stelle, von wo aus sie wieder kegelartig divergiren. An der Stelle, wo diese Lichtkegel den kleinsten Durchmesser haben, zeigt sich ein blendendes Licht, und eine große Hitze. Wir werden in der Folge sehen, daß dieser kleine Lichtkreis, den wir Brennraum nennen wollen, eigentlich ein kleines verkehrtes Sonnenbild ist. Der Punkt der Achse, wo dies Bild sich zeigt, heißt der Brennpunkt des Glases, und der Abstand desselben von der nähsten Glasfläche, heißt die Brennweite. Der Brennpunkt ist eigentlich die Stelle, wo Strahlen, die mit der Achse parallel auffallen, nach der Brechung ihren Vereinigungspunkt haben. Brennpunkt und Brennweite werden bei Sammelgläsern positiv genannt. Ein Sammelglas hat zwei Brennpunkte, und zwei gleiche Brennweiten, die eine vor, und die andere hinter dem Glase. Denn kehrt man das Glas um, so zeigt sich in der beschriebenen Erscheinung keine bemerkliche Veränderung.

Hält man ein Zerstreuungsglas gegen die Sonne, oder (um Blendung des Auges zu vermeiden) gegen einen andern sehr entfernten minder glänzenden Gegenstand, so erblickt ein durchsehendes Auge ein kleines Bild des Gegenstandes, welches sehr nahe vor dem Glase steht. Die Stelle

dieses Bildes in der Achse heißt der negative Brennpunkt, und sein Abstand von der Vorderfläche die negative Brennweite des Glases. Auch Zerstreuungsgläser, haben doppelte Brennpunkte und Brennweiten.

Die Brennweiten der Gläser lassen sich, wenn nicht besondere Genauigkeit erfodert wird, auf ganz ähnliche Art, als bei Spiegeln (XLVI. 12. und 14.) finden. Wie die Brennweite von den Krümmungs-Halbmessern der Flächen abhänge, wollen wir in den mathematischen Zusätzen zeigen. Hier merke man vorläufig, daß bei doppelt-convexen und doppelt concaven Gläser, wenn sie gleichseitig sind, die Brennweite ungefähr dem Halbmesser der Flächen gleich ist. Bei planconvexen, und planconcaven ist sie etwa doppelt so groß.

9. Endlich bemerken wir noch, daß das gemeine grünliche Spiegelglas, zu Folge der Erfahrung das beste zu allen Arten von optischen Gläsern ist. Das ganz farbenlose Krystallglas, und namentlich das Flintglas, wird nur zu ganz bestimmten Zwecken gebraucht.

Entstehung optischer Bilder durch Gläser.

§. 14. Durch die Brechung des Lichtes bringen die sphärischen Gläser, auf ganz ähnliche Art als die Spiegel, optische Bilder hervor. Die Lichtmasse, die, von einem einzigen strahlenden Punkte kommend, auf ein Glas fällt, hat die Gestalt eines Kegels, dessen Spitze der strahlende Punkt, dessen Grundfläche das Glas, und dessen Achse ein Hauptstrahl ist. Was aber das durchgehende Licht betrifft, so können wir hier dieselben beiden Voraussetzungen, als bei den Spiegeln (XLVI. 9.) machen, nämlich:

1. daß es gleichfalls die Gestalt eines Kegels habe, dessen Grundfläche das Glas, dessen Achse der Hauptstrahl, und dessen Spitze ein optisches Bild des strahlenden Punktes ist, welches aber eben sowohl vor als hinter dem Glase in jeder, auch in unendlicher Entfernung liegen kann.

2. Liegen ferner mehrere strahlende Punkte in einer auf der Achse winkelrechten Linie über einander, so liegen auch ihre optischen Bilder in einer solchen Linie.

Diese beiden Annahmen werden wir zuerst durch die genaue Übereinstimmung aller daraus abgeleiteten Erklärungen mit der Erfahrung, am Ende des Capitels aber auch durch mathematische Untersuchungen rechtfertigen.

Die beiden ausgesprochenen Voraussetzungen machen die im vorigen Capitel gebrauchte Smith'sche Constructions-Methode auch bei Gläsern anwendbar. Ist nämlich ein Glas mit seiner Achse und Brennweite gegeben, und man stellt einen strahlenden Gegenstand in irgend einem Punkte der Achse als eine kleine senkrechte Linie vor, so ist es leicht, durch die Betrachtung von nicht mehr als zwei Lichtstrahlen die Stellung und Größe seines optischen Bildes zu finden. Betrachtet man nämlich einen Punkt des Gegenstandes, der von der Achse ungefähr nur um die halbe Öffnung des Glases entfernt ist, so kann man sehr leicht den Weg, welchen zwei seiner Strahlen durch das Glas nehmen, finden. Denn durch die Mitte des Glases geht ein Strahl so gut als ungebrochen, und ein der Achse paralleler Strahl geht durch den Brennpunkt. Wo sich nun die Richtung dieser beiden Strahlen schneidet, da ist die Abbildung des strahlenden Punktes, und ein von da auf die Achse gefälltes Loth stellt das optische Bild des Gegenstandes dar. Auch bemerken wir noch, daß man in diesen Constructionen den Durchschnitt des Glases als eine bloße auf der Achse winkelrechte Linie behandeln dürfe, da die Flächen, um deutliche Bilder zu erhalten, wenig gekrümmt sein dürfen, auch die Dicke des Glases im Verhältniß gegen die Brennweite immer nur klein ist.

Erscheinungen durch Sammel- und Zerstreuungs-Gläser.

§. 15. Die Erscheinungen sind denen der Sammelspiegel (XLVI. 13.) ganz ähnlich, und man muß da-

her hier wie dort drei Fälle einzeln betrachten. Der Gegenstand steht nämlich entweder 1) innerhalb der vorderen Brennweite, oder 2) im Brennpunkte selbst, oder 3) außerhalb der Brennweite.

Zur Erläuterung dienen die drei Figuren 113, 114, 115, in welchen AB der Durchschnitt eines Sammelglases, C die Mitte desselben, oder des optischen Centrum, durch welches die Hauptstrahlen ungebrochen gehen, PQ die Achse des Glases, D und E die beiden Brennpunkte sind. Das Licht kommt von der linken Seite. FH stellt in diesen Figuren den strahlenden Gegenstand vor. Es ist völlig hinreichend, nur die obere Hälfte desselben und seines optischen Bildes zu betrachten, weil sich die Größe, Entfernung und Lage des letzten deutlich ergiebt; auch ist es hinreichend sich unter FH nur ein Stück eines Gegenstandes vorzustellen, der nicht größer ist, als die halbe Apertur des Glases. Aus dem höhsten Punkte F sind zwei Strahlen gezogen, der Hauptstrahl FC, und der mit der Achse parallele FA; jener geht ungebrochen durch, dieser wird nach dem hinteren Brennpunkte E gebrochen. Aus Betrachtung der Dreiecke FAC, ACE läßt sich in jedem Falle beurtheilen, ob die Strahlen CF und AE hinter dem Glase divergirend, oder parallel, oder convergirend fortgehen. Nach diesen allgemeinen Erörterungen werden die einzelnen Figuren leicht zu verstehen sein.

In Fig. 113. steht der Gegenstand FH innerhalb der Brennweite DC. Die Strahlen gehen hinter dem Glase fort, als kämen sie von dem Bilde fh, welches entfernter und größer als FH ist, und mit demselben gleiche Stellung gegen die Achse hat.

In Fig. 114. steht der Gegenstand FH in dem Brennpunkte D selbst. Die von F (oder von jedem anderen Punkte des Gegenstandes) kommenden Strahlen sind hinter dem Glase dem Hauptstrahle parallel. Man kann daher mit gleichem Rechte sagen, entweder, es sei gar kein Bild vorhanden, oder, das Licht gehe hinter dem Glase so fort, als komme es von einem zwischen den Schenkeln des Winkels FCD enthaltenen, aber unendlich entfernten aufrechten Bilde; oder endlich, es gehe so fort, als sollte es hinter dem Glase

ein zwischen den Schenkeln des Winkels ECI enthaltenes, aber unendlich entferntes und verkehrtes Bild hervorbringen.

In Fig. 115. steht FH außerhalb der Brennweite DC. Die Strahlen convergiren hinter dem Glase, und bringen ein wirkliches Bild fh des Gegenstandes hervor, welches in freier Luft schwebt. Um sich zu überzeugen, daß es wirklich da ist, kann man es, wenn nur das Licht stark genug ist, mit einer ebenen weißen Fläche auffangen, und sichtbar machen. Ein Beobachter der es unmittelbar sehen will, muß mindestens in der Weite des deutlichen Sehens hinter fh stehen, aber er wird nur ein Stück des Bildes sehen, und kann auch dabei der (schon XLVI. 10. erörterten) Täuschung nicht entgehen, als ob das, was er sieht, in dem Glase, oder vor der Vorderseite desselben wäre; weswegen auch die Größe des Bildes ihm unrichtig erscheinen muß. (XLVI. 10.)

Anm. Alle diese Erörterungen werden keine Schwierigkeit haben, wenn man nur dem, was in diesem und dem vorigem Capitel über die Entstehung optischer Bilder gesagt ist, die nöthige Aufmerksamkeit geschenkt hat. Besonders empfielt der Verfasser noch, den Gegenstand FH zuerst dicht vor das Glas in Gedanken zu stellen, ihn dann stätig erst bis D, dann weiter bis in die doppelte Brennweite, und endlich ferner bis ins Unendliche fortrücken zu lassen. Während dieses Fortrückens ändert auch das Bild seine Stelle, Größe, und Lage stätig, aber in einer ganz andern Ordnung als der Gegenstand. Diese Ansicht ist außer dem optischen Nutzen, auch dadurch lehrreich, daß sie dient, die Begriffe von dem Zusammenhang zweier veränderlicher Größen, und dem merkwürdigen Übergange aus dem Positiven in das Negative durch das Unendliche anschaulich zu machen.

§. 16. Die Erscheinungen durch Zerstreuungsgläser gleichen denen durch Zerstreuungsspiegel (XLVI. 15.). Der Gegenstand stehe vor dem Glase, wo man will, so erblickt ein Auge, das hinter dem Glase steht, ein kleineres aufrechtes Bild, das in jedem Falle zwischen dem Glase und dem vorderen Brennpunkte steht.

In Fig. 116. ist AB der Durchschnitt eines Zerstreuungsglases, PQ die Achse desselben, D und E die beiden Brennpunkte. Der Gegenstand FH stehe, wo man will, so geht der Hauptstrahl FL ungebrochen durch C; der parallele Strahl FA wird aufwärts nach K gebrochen, als käme er aus E. Die Richtung der Strahlen CL und AK durchschneidet sich vor dem Glase in f. Daher ist fh das optische Bild von FH, welches ein hinter C stehender Beobachter sehen wird. Da der Punkt f jederzeit in der Linie AE liegen muß, der Gegenstand sei nahe oder fern, so ist fh in jedem Falle zwischen dem Glase und dem vorderen Brennpunkte.

Anm. Auch hier verdient der stätige Zusammenhang zwischen dem Gegenstande und dessen Bilde aufmerksam erwogen zu werden.

§. 17. Das Bild sehr entfernter Gegenstände hat allezeit seine Stelle im Brennpunkte, sowohl bei Sammelgläsern, als bei Zerstreuungsgläsern; aber die Größe des Bildes wächst mit dem Winkel, unter welchem ein Auge ohne Glas den Gegenstand sieht.

Es sei AB Fig. 117. ein Sammelglas und h sein Brennpunkt. Steht nun ein strahlender Gegenstand vor dem Glase in der Achse in solcher Entfernung, daß er einem Auge in C als ein Punkt erscheint, so sind alle auf das Glas fallende Strahlen als parallel zu achten, nnd werden daher sämmtlich nach dem Brennpunkte h gebrochen; also ist sein Bild in h ein bloßer Punkt.

Ist aber der Gegenstand so groß, daß sein sichtbarer Halbmesser (XLV. 8.) einem Auge in C unter dem Winkel FCH erscheint, so sind alle vom höhsten Punkte des Gegenstandes auf das Glas fallende Strahlen dem Hauptstrahle FC parallel. Verlängert man nun FC, und errichtet in h die Lothrechte fg, so haben alle mit FC parallele Strahlen ihren Vereinigungspunkt in f. Folglich wird sich in der Stelle h ein verkehrtes Bild hf des Gegenstandes zeigen, dessen Größe von dem Winkel fCh = FCH abhängt.

Setzt man den Winkel HCF = + φ, also den Winkel hCf = − φ, und die Brennweite Ch = p, so ist der Halb-

messer des Bildes hf = — p Tang φ, wo das Vorzeichen die umgekehrte Lage andeutet.

Stellt man sich aber unter AB (Fig. 117.) ein Zerstreuungsglas, und unter h′ den vorderen Brennpunkt desselben vor, so kann man sich leicht durch ähnliche Schlüsse überzeugen, daß in h′ ein aufrechtes Bild des Gegenstandes erscheinen, und daß h′f′ = + p Tang φ sein werde.

Anm. Genau sind diese Bestimmungen nur dann, wenn φ unendlich klein, und die Entfernung des Gegenstandes unendlich groß ist. Bedenkt man aber die Kleinheit aller optischen Gläser, und die Beschränktheit unserer Sehkraft, so sieht man leicht ein, daß schon die Strahlen, welche von einem Punkte kommen, der 100 oder noch weniger Fuße entfernt ist, am Glase für unsere Sinnen parallel sind; und daß man daher diese Erklärungen selbst auf nur mäßig entfernte Gegenstände anzuwenden berechtigt ist, wofern nur der sichtbare Halbmesser φ des Gegenstandes (XLV. 8.) klein ist. In diesem Falle darf man aber Tang $\varphi = \varphi$ (in Theilen des Halbmessers 1.) also den Halbmesser des Bildes = pφ setzen.

Nützlicher Gebrauch einzelner sphärischen Gläser.

§. 18. Schon von einzelnen geschliffenen Gläsern, an welchen eine oder beide Flächen sphärisch gekrümmt sind, läßt sich ein mannigfaltiger nützlicher Gebrauch machen.

1. Das Brennglas. Wenn der Bogen von dem Durchschnitte eines gleichseitigen Sammelglases stark gekrümmt ist, so kann es zwar keine deutlichen Bilder machen (§. 13. Nr. 3.), aber hält man die Achse desselben gegen die Sonne, so wird nicht nur alles auf die Vorderfläche desselben fallende Licht am Brennpunkte in ein sehr kleines verkehrtes Sonnenbild gesammelt, sondern es zeigt sich auch in diesem Raume eine hitzerregende Kraft, welche den stärksten künstlichen Erregungsmitteln der Hitze (XX. 4.) nichts nachgiebt. Ein solches Glas heißt daher ein Brennglas.

Man sieht leicht ein, daß die Wirkung eines Brennglases um so größer sein wird, je kleiner der Brennraum, in Ver-

gleichung mit der Oberfläche des Glases ist. Man macht daher ein Brennglas so groß als es füglich die Kunst schaffen kann (von 12 Zoll Öffnung und darüber), und stellt hinter demselben in einiger Entfernung ein kleineres Sammelglas so auf, daß es den ganzen Lichtkegel des großen Glases auffängt, und in einem kleinen Raume zusammendrängt.

Der Körper, den man der Wirkung eines Brennglases aussetzen will, muß kleiner sein als der Brennraum, und auf einem schlechten Wärmeleiter (z. B. auf Kohlen, Graphit u. dgl.) liegen. Unter Beobachtung dieser Bedingungen thun selbst kleinere Brenngläser große Wirkung.

Die Brenngläser sind bequemer zu den Versuchen, und minder kostbar als die Brennspiegel. Über die damit anzustellenden Versuche sehe man in physical. W. B. die Artikel Brennglas und Brennspiegel.

Anm. Es hat keine Schwierigkeit, die Kraft eines Brennglases in Zahlen zu schätzen. Der Öffnungshalbmesser des Glases sei x, die Brennweite p, so ist der Halbmesser des Brennraumes $p\varphi$ (Anm. zum vor. §.), wo φ der sichtbare Halbmesser der Sonnenscheibe ist, der im Mittel ungefähr 15′ beträgt, die in Theilen des Halbmessers (= 1.) 0,0043633 betragen. Da sich nun die Fläche des Glases und der Brennraum (beide als Kreise betrachtet) $= x^2 : p^2\varphi^2$ verhalten, so verdichtet ein einfaches Brennglas das Sonnenlicht, $\frac{x^2}{p^2\varphi^2}$mal. Der Werth von $\frac{1}{\varphi^2}$ aber findet sich = 52525, wofür wir die runde Zahl 50000 setzen wollen. Es wird also das Sonnenlicht 50000 $\left(\frac{x}{p}\right)^2$ mal verdichtet. Es ist aber $\frac{x}{p}$ auf jeden Fall ein Bruch. Denn gäbe man auch dem Durchschnittsbogen des Glases 60°, welches schon wegen der ungeschickten Dicke und Schwere des Glases nicht wohl ausführbar ist, so würde, weil p ungefähr dem Krümmungshalbmesser gleich ist (XLVII. 13.), $x = \frac{1}{2}p$, also $\frac{x}{p} = \frac{1}{2}$ und $\left(\frac{x}{p}\right)^2 = \frac{1}{4}$ sein. Die äußerste Verdichtung wäre also 12500 mal. In der Wirklichkeit wird sie aber in jedem Falle weit geringer sein, aus einer doppelten Ursach; 1) weil man x immer beträchtlich kleiner als $\frac{1}{2}$p machen muß, 2) weil das Licht bei dem Durchgange durch ein Glas beträchtlich geschwächt wird, was hier gar nicht in Rechnung gebracht ist. Doch wird man durch die Formel 50000 $\left(\frac{x}{p}\right)^2$ die Wirkung zweier Gläser ziemlich sicher

vergleichen können, wenn beide in gleichem Grade durchsichtig sind.

2. Sammel-Brillen, und Lesegläser. Sie sind ein vortreffliches Hülfsmittel, gegen die zu große Weitsichtigkeit, den gewöhnlichen Fehler des Alters, wo die Weite des deutlichsten Sehens sich so zu vergrößern pflegt, daß man bei der Arbeit die Hände nicht bis dahin ausstrecken kann. Ihre Wirkung erklärt sich leicht aus Fig. 113. Denn hält man einen Gegenstand FH innerhalb der Brennweite, und in der Entfernung von C, in der man bequemer arbeiten, oder lesen kann, so sieht ein Auge hinter dem Glase sein Bild fh in der Entfernung Ch, welche sich durch eine geringe Veränderung der Entfernung CH, der Weite des deutlichsten Sehens gleich machen läßt. Obgleich das Bild fh in jedem Falle größer ist als FH, so urtheilen doch Leute, die mit den Gesetzen des Lichtes unbekannt sind, ohne Ausnahme, daß das Glas nicht vergrößere, sondern nur deutlicher mache, vorausgesetzt, daß die Entfernungen CH und Ch nicht allzusehr verschieden sind, ein Fall der nur bei kurzen Brennweiten eintritt. Diese Täuschung erklärt sich befriedigend aus XLV. 8. Das Auge dicht hinter dem Glase sieht das Bild fast unter demselben Winkel fCh, als es den Gegenstand ohne Glas sehen würde, d. h. die sichtbare Größe beider ist gleich. Aber die scheinbare hängt von der Entfernung ab, in welche die Einbildungskraft das Bild setzt. Sind nun CH und Ch nicht allzu verschieden, so setzt sie das Bild dahin, wo der Gegenstand steht, und dann wird auch die scheinbare Größe des Bildes dem Gegenstande gleich. Weil aber doch das Bild wirklich in der Weite des deutlichen Sehens ist, so sieht das Auge alles deutlicher.

Man macht die Sammel-Brillen von sehr verschiedenen Brennweiten, von 6 bis 60 Zoll und darüber. Denn fast jedes Auge bedarf einer andern Brennweite. Ob die Brille dem Auge zusage, hängt nämlich hautsächlich von zwei Umständen ab, 1) von der Weite, in der das Auge am deutlichsten siehet, und 2) von der Weite, in welcher man die Arbeit zu halten gewohnt ist. Brillen von sehr langen Brennweiten nennt man Conservations-Brillen. Mit ihnen muß man anfangen, und nur langsam zu kleinern Brennweiten fortschreiten.

Anm. Wir wollen hier sogleich eine allgemeine Bemerkung hinzufügen, die für den Gebrauch aller Arten von optischen Gläsern und Instrumenten wichtig ist. Das Urtheil des Beobachters über die Entfernung des Bildes, welches er sieht, ist in jedem Falle mehr oder minder unsicher; weil einige oder alle Umstände, welche sonst unser Urtheil über die Entfernung wirklicher Gegenstände bestimmen (XLV. 10. 11.), ihre Dienste versagen. Dann übernimmt die Einbildungskraft bewußtlos das Geschäft des Verstandes, und setzt das Bild gewöhnlich in eine mehr oder minder falsche Stelle. Für diese falsche Stelle ordnet sich nun das Innere des Auges (XLV. 3.), wobei keine Deutlichkeit möglich ist. Daher kommt es, daß Leute, die mit den Gesetzen des Sehens unbekannt sind, oft durch die besten Instrumente nichts deutlich sehen können. Hieraus folgt, 1) daß sich das Auge bei dem Sehen durch Gläser leicht in einer widernatürlichen Spannung befinde, indem sich sein Inneres für eine andere Entfernung, als die des Bildes, ordnet. Geschieht dieses oft, so kann es dem Auge nachtheilig werden. Man muß daher nur solche Brillen wählen, durch welche man ohne alle Anstrengung des Auges deutlich sieht; 2) man kann sich an ein gutes optisches Instrument gewöhnen, indem die Einbildungskraft nach und nach lernt, das Bild an seine rechte Stelle setzen. Dann sieht der Beobachter durch sein Instrument mehr und richtiger, als andere dadurch sehen können.

3. Zerstreuungs-Brillen und Lorgnetten. Sie thun die entgegengesetzte Wirkung, nämlich sie erleichtern einem zu kurzsichtigen Auge das deutliche Sehen entfernter Gegenstände. Ihre Wirkung erklärt sich aus Fig. 116. Steht ein Auge hinter dem Glase AB, und sieht nach einem Gegenstande FH, der so entfernt ist, daß das Auge ihn nicht deutlich sehen kann, so sieht es statt desselben das aufrechte Bild fh, welches innerhalb der Brennweite EC, und zwar nahe bei dem Brennpunkte E steht. Ist nun EC ungefähr die Weite des deutlichen Sehens, und täuscht sich das Auge nicht allzusehr in der Entfernung dieses Bildes, so wird es das Bild viel deutlicher sehen, als den Gegenstand ohne Glas.

Anm. Eine solche Brille ist dem Auge fast ohne Ausnahme schädlich. Denn sieht Jemand z. B. durch eine 10zöllige

Brille nach entfernten Gegenständen, so wird er sich nicht leicht überreden könne, daß alle Bilder, die er sieht, weniger als 10 Zoll von seinem Auge stehen. Daher findet hier fast unvermeidlich der in der Anm. zu der vorigen Nummer erwähnte innere Widerspruch im Auge statt.

4. Vergrößerungsgläser oder Loupen, und einfache Mikroskope. Einzelne Sammelgläser von 3 bis $\frac{1}{2}$ Zoll Brennweite pflegt man Loupen zu nennen, ist die Brennweite noch kleiner, so heißen sie einfache Mikroskope. Ihr Zweck ist, kleine Gegenstände unter einer stärkern sichtbaren und scheinbaren Größe, und daher vollständiger und deutlicher als mit bloßem Auge zu sehen. Die deutliche Einsicht in die Wirkung solcher Gläser beruhet auf folgender Betrachtung. Wenn man einen Gegenstand ohne Glas betrachtet, und ihn allmählig dem Auge näher bringt, so vergrößert sich der Winkel, unter welchem man ihn sieht, d. h. seine sichtbare Größe. Kommt er in die Weite des deutlichen Sehens, und ist dann der Sehwinkel noch von beträchtlicher Größe, so unterscheidet man nicht nur den Umriß, sondern auch die einzelnen Theile des Gegenstandes so gut, als es nach der besondern Beschaffenheit des Auges möglich ist. Ist dagegen der Sehwinkel in dieser Entfernung sehr klein (etwa kleiner als 1′), so wird man weder den Umriß noch die Theile gehörig unterscheiden. Nähert man nun den Gegenstand noch mehr, so wächst zwar der Sehwinkel desto mehr, je näher der Gegenstand zum Auge kommt, aber die Deutlichkeit nimmt in eben dem Maaße ab. Wir wollen nun annehmen, man habe einen kleinen Gegenstand dem Auge bis auf $\frac{1}{4}$ Zoll genähert, so kann der Sehwinkel ziemlich groß sein, aber dennoch kann das Auge nichts unterscheiden. Nun schiebe man aber zwischen den Gegenstand FH Fig. 113. und das Auge in C eine kleine mikroskopische Linse AB von $\frac{1}{4}$ Zoll Brennweite ein, so wird das Auge statt des Gegenstandes FH das Bild fh sehen, da der Gegenstand unter den gemachten Voraussetzungen innerhalb der Brennweite steht. Und da eine sehr geringe Annäherung an den Brennpunkt eine sehr beträchtliche Veränderung in der Entfernung Ch hervorbringt, so wird es in jedem Falle leicht sein, den Gegenstand FH so zu stellen, daß Ch die Weite des deutlichen Sehens ist.

Dann sieht das Auge das Bild fh unter derselben vermehrten sichtbaren Größe, unter welcher es den Gegenstand ohne Glas sehen würde, aber es sieht ihn deutlich, weil das Bild in der Weite des deutlichen Sehens steht; und setzt die Einbildungskraft das Bild richtig in diese Weite, so wird der Beobachter auch die scheinbare Größe des Bildes richtig beurtheilen. Da sich nun verhält FH : fh = CH : Ch, CH aber der Brennweite nahe kommt, und Ch die Weite des deutlichen Sehens ist, so sieht man, wie sich die Höhe des Gegenstandes zu der Höhe des gesehenen Bildes verhält. Setzt man die Weite des deutlichen Sehens im Mittel auf 8 Zoll, so ist die Vergrößerungszahl, welche m heiße, $m = \frac{8}{p}$.

Da aber die Breite des Gegenstandes in eben dem Maaß vergrößert wird, so ist die gesehene Oberfläche m^2mal vergrößert; und da die Dicke des Körpers zwar nicht gesehen, aber doch durch die Einbildungskraft in das gesehene Bild aufgenommen wird, so erscheint der ganze Körper m^3 mal vergrößert. Betrachtet man z. B. etwas durch eine Linse, deren $p = 0{,}1$, so ist $m = 80$; $m^2 = 6400$; $m^3 = 512000$.

Man setzt auch Loupen aus zwei Sammelgläsern zusammen, die dicht hinter einander stehen. Sie thun die Wirkung einer einzigen Linse, deren Brennweite kürzer ist als die kleinere der beiden Brennweiten; aber sie vertragen eine größere Apertur, als eine einzelne Linse. Steht ein Gegenstand nahe an dem ersten Glase, innerhalb der Brennweite, so wird das Licht in ihr so gebrochen, als käme es, wie in Fig. 113, von einem etwas entfernten Gegenstande fh. Die Brennweite des zweiten Glases muß noch über fh hinausreichen, dann empfängt ein Auge hinter dem zweiten Glase das durchgehende Licht (wieder nach Fig. 113.) so, als käme es von einem noch etwas entfernteren uud größeren Gegenstande.

Anm. Es ist bei Mikroskopen allgemein üblich, die Vergrößerung des ganzen Körpers (also m^3) anzugeben, vielleicht weil es vornehmer klingt. Indessen täuscht eine solche Angabe den Beobachter, der mit der Optik unbekannt ist, und er erwartet weit mehr, als er bei dem Sehen durch das Mikroskop findet.

5. Das Sonnen-Mikroskop. Wenn man in den Fensterladen eines verfinsterten Zimmers eine Röhre von einigen Zollen Länge, und 1 bis $1\frac{1}{2}$ Dicke einsetzt, vor dem Fenster aber einen beweglichen Spiegel anbringt, durch welchen man das Sonnenlicht horizontal in die Röhre leiten kann, wenn man ferner an dem innern Ende der Röhre eine kleine mikroskopische Linse anbringt, und vor derselben (auf der Sonnenseite) ein wenig außer der Brennweite einen kleinen durchscheinenden Gegenstand einsetzt, so entstehet vor demselben in dem dunkeln Zimmer in einiger Entfernung ein umgekehrtes optisches Bild, welches man mit einer ebenen weißen Fläche auffangen, und so sichtbar machen kann. Dieses ist die wesentliche Idee eines Sonnen-Mikroskops, dessen besonderer Bau in den physicalischen Wörterbüchern nachzusehen ist.

In Fig. 115. stelle AB die mikroskopische Linse vor, FH ist der vor dem Brennpunkte D aufgestellte, und durch Sonnenlicht sehr stark erleuchtete Gegenstand. Dann entsteht hinter dem Glase das Bild fg. Soll das Bild aufrecht stehen, so stellt man den Gegenstand verkehrt. Je näher FG dem Brennpunkte steht, desto größer und entfernter wird das Bild, aber auch desto undeutlicher und dunkler.

Die Bilder eines Sonnen-Mikroskops haben die Bequemlichkeit, daß sie von vielen Beobachtern zugleich gesehen, auch leicht abgezeichnet werden können; auch kann man die Vergrößerung beliebig vermehren und vermindern; aber an Schärfe kommen sie den Bildern eines einfachen Mikroskops nie gleich.

6. Die Camera obscura beruhet auf ähnlichen Gründen. Wenn in Fig. 115. der Gegenstand FH nahe vor dem vordern Brennpunkte steht, so liegt das optische Bild weit hinter dem hinteren E. Wird der Gegenstand weit entfernt, so liegt das Bild nahe hinter E, und beträgt die Entfernung der Gegenstände Hunderte von Fußen, so ist das Bild als im Brennpunkte liegend zu betrachten (§. 17.). Wenn man daher in einem viereckigen überall geschlossenen Kasten in der Mitte der Vorderwand ein Sammelglas einsetzt, dessen Brennweite gerade bis zu der Hinterwand reicht, hier aber den Kasten bloß mit einem dünnen Blatt Pa-

pier, oder noch besser mit einer mattgeschliffenen Glastafel verschließt, und dann das Glas gegen entfernte und gut beleuchtete Gegenstände richtet, so erblickt man auf der durchscheinenden Hinterwand ein kleines ziemlich scharfes perspectivisches Gemälde der vorliegenden Gegend, aber verkehrt. Durch einen schicklich angebrachten (Metall=) Spiegel kann man das Bild aufrecht darstellen, und nach Verschiedenheit der Art, wonach der Spiegel und das Auge des Beobachters gestellt wird, mit oder ohne Verwechselung der rechten und linken Seite; worüber das Nähere in größeren Werken nachzusehen ist.

Anm. 1. Man kann die Camera obscura gebrauchen, um Gegenden aufzunehmen; nur muß der Zeichner nichts als die Haupt=Umrisse leicht abzeichnen, und dieses aus zwei Ursachen. 1) Die Luft=Perspective (XLV. 15.) ist in dem Bilde der Cam. obsc. nicht genau, die Gegenstände des Hintergrundes erscheinen schärfer, als sie das Auge unmittelbar sieht; 2) auch die geometrische Perspective ist nicht genau. Ein Gemälde soll die Gegenstände so vorstellen, wie sie sich auf dem Boden des Auges abbilden; aber dieser ist keine Ebene, sondern eine sphärische Fläche.

Anm. 2. Eine nicht sehr erhebliche Abänderung der Camera obscura, wo man das Bild nicht auf einer Ebene auffängt, sondern unmittelbar durch ein Sammelglas wie durch eine Loupe betrachtet, nennen einige eine Camera clara.

7. Obgleich die sogenannte Camera lucida, die eine neuere sinnreiche Erfindung Wollaston's ist, auf ganz andern Gründen beruhet, so fügen wir doch wegen der Verwandtschaft des Namens und Zweckes eine kurze Beschreibung hinzu. Der Zweck des Instrumentes ist nämlich, die Umrisse entfernter Gegenstände perspectivisch richtig aufzunehmen.

Es sei CAB Fig. 119. ein Quadrant, und sein Bogen AB sei in D halbirt, auch sein die Sehnen AD, DB gezogen, so daß die geradlinige Figur CADB der vierte Theil eines regulären Achtecks ist. Man stelle sich diese Figur CADB als den senkrechten Durchschnitt eines Prisma von sehr reinem Glase vor. Die obere horizontale Ebene CA sei mit einer geschwärzten Platte bedeckt, die bloß bei E über der Mitte der Ebene AD eine kleine Öffnung hat. Die lothrechte Ebene CB sei einem entfernten Gegenstande ST zuge=

kehrt, dessen Mitte R in der horizontalen Linie RQ liegt, welche aus der Mitte Q der Ebene DB gezogen ist. Da nun alles von ST kommende Licht in der Ebene CB wenig gebrochen wird (XLVII. 6. Nr. 1.), so fällt es auf die Ebene BD unter Winkeln, welche nur wenig von $22\frac{1}{2}°$ verschieden sind. Daher wird es von der Fläche BD, wie von einem vollständigen Spiegel reflectirt. Macht man nun den Winkel BQR′ = BQR, und QR′ = QR, so wird alles Licht von dem Spiegel BD so reflectirt, als käme es von dem Gegenstande S′T′. Dann fällt dieses Licht unter eben so kleinen Winkeln auf die Fläche DA, und wird größtentheils senkrecht gegen die Ebene CA geworfen; und macht man den Winkel DUR″ = DUR′, auch UR″ = UR′, so geht dieses Licht von DA so fort, als käme es von dem Gegenstande S″T″. Steht nun der Beobachter auf der Seite A, und sieht durch die kleine Öffnung E in das Prisma, so sieht er auf einer weißen Ebene, die horizontal 8 bis 10 Zoll unter den Prismen liegt, Gegenstände wie ST, gleichsam wie ein Gemälde horizontal auf der Ebene und aufrecht, auch ohne Umkehrung der Seiten liegen. Daher kann man mit einer Bleifeder die Umrisse bequem abzeichnen.

Die 120ste Figur stellt das Gestell dieses Instruments vor. FG ist eine etwas schwere Platte von Metall, unter welcher ein Bogen Papier OP ausgespannt liegt. Auf FG steht eine dünne runde Säule HI, 8 bis 10 Zoll lang. KL ist eine Hülse, die an ihr auf und nieder geschoben, und an jeder Stelle durch eine Schraube befestigt werden kann. MN ist das oben beschriebene Prisma (von der Seite A her Fig. 119. gesehen). Es hat an beiden Seiten Hülsen von Messing, und ist durch einen kurzen Stift an der Hülse befestigt, kann aber um diesen Stift gedreht werden, um die obere Fläche (CA Fig. 119.) mehr oder minder horizontal stellen zu können. Das Prisma selbst muß sehr klein sein. Die Halbmesser CA und CB Fig. 119. etwa 0,3 Zoll, und die ganze Länge des Prisma etwa 1 Zoll. Das Loch E in der Deckplatte muß kleiner als die geöffnete Pupille (etwa 0,05 Zoll) sein. Sieht dann das Auge in das sehr helle Bild, so ist die Pupille erweitert genug, um nicht bloß die aus dem Prisma kommenden Strahlen, sondern auch das von der Ebene OP kommende Licht aufzunehmen,

und die Spitze des Bleistiftes zu sehen, mit welchem man die Umrisse zeichnet.

Genauere Nachrichten sehe man in Gilberts Annalen B. 34. S. 353; desgleichen B. 42. S. 338.

8. Unter der Benennung optischer oder perspectivischer Kasten versteht man allerlei Vorrichtungen, perspectivische Zeichnungen durch ein breites Sammelglas von $1\frac{1}{2}$ bis 2 Fuß Brennweite zu betrachten. Die gut beleuchtete Zeichnung muß innerhalb der Brennweite, aber nicht weit von Brennpunkte, ihre Stelle haben. Dann erblickt man durch das Glas (nach Fig. 113.) ein entferntes größeres, und in der That undeutliches Bild, dessen Gestalt sich aber eben dadurch der Natur mehr nähert.

9. Die Zauber-Laterne (Laterna magica). Eine überall (mit Ausnahmen der nöthigen Zuglöcher) geschlossene Laterne, trägt im Innern eine Lampe, die eine sehr helle Flamme giebt. Um ihr Licht noch mehr zu verstärken befindet sich an ihrer Hinterwand ein Erleuchtungs-Spiegel (XLVI. 13. Nr. 2.). In der Mitte der Vorderwand, die auf diese Art sehr stark erleuchtet ist, befindet sich ein rundes Loch von etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser, in welchem eine nach außen gerichtete Röhre von etwa 3 Zoll Länge befestigt ist. In dieser steckt eine zweite, die sich aus- und einwärts schieben läßt. Die erste Röhre hat dicht an der Laterne auf beiden Seiten in senkrechte Richtung Einschnitte, wodurch man einen schmalen Glasstreifen, auf welchen allerlei Figuren mit durchsichtigen Farben gemalt sind, durchschieben kann, und zwar müssen die Figuren verkehrt eingeschoben werden. Nahe vor der stark erleuchteten Figur (nach auswärts) steht in der äußeren Röhre ein Sammelglas, und die Figur steht innerhalb seiner Brennweite. Daher geht das Licht der Figur von diesem Glase nach außen, als käme es, wie in Fig. 113. von einem größeren und entfernteren Bilde fh. Dann befindet sich am äußersten Ende der zweiten innern Röhre ein anderes Sammelglas, dessen Brennweite aber noch nicht bis zu dem Bilde fh reicht. Das Licht wird daher in diesem Glase so gebrochen, daß es, wie Fig. 115. in einiger Entfernung vor der Laterne ein Bild hervorbringt, welches auf einer ebenen Fläche (auf einer Wand) aufgefangen werden kann. Dieses Bild

steht aufrecht, wenn das gemalte Bild verkehrt steht. Durch Ein = und Ausschieben der inneren Röhre kann man das optische Bild näher an die Laterne bringen, oder weiter entfernen.

Das ganze Instrument ist ein Spielwerk, doch die Theorie desselben nicht unbelehrend.

Mathematische Zusätze.

§. 19. Das Wesentlichste von der Theorie aller sphärischen Gläser, wenigstens, so viel zu deutlicher Einsicht aller bisher erörterten Erscheinungen erfoderlich ist, läßt sich auf zwei Sätze zurückführen, von denen der eine die Brechung eines Strahles betrifft, der aus einem Punkte in der Achse kommt; der andere die Brechung eines Strahles, der aus einem Punkte außer der Achse kommt.

Den Sinn der ersten Aufgabe wird Fig. 121. deutlich machen. Es sei ACB die obere Hälfte von dem Durchschnitt eines Sammelglases. In D liege der geometrische Mittelpunkt der Vorderfläche AC; in E der geometrische Mittelpunkt der Hinterfläche BC. Wir setzen also voraus, daß die Ebene des Durchschnitts durch diese beiden Punkte gehe. Eine Linie FI durch D und E gezogen, muß auf beiden Glasflächen bei A und B senkrecht stehen, also die Achse des Glases sein. Aus dem Punkte F der Achse falle der Strahl FG auf das Glas. Zieht man nun durch G und D das Einfallsloth KGD, so ergiebt sich aus dem Grundgesetze der Dioptrik §. 3, daß der gebrochene Strahl GH in der Ebene der Zeichnung bleibe, und mit dem Loth GD im Glase einen kleinern Winkel HGD als in der Luft machen werde. Zieht man ferner durch den Punkt H, wo er die Hinterfläche trifft, das Einfallsloth EHL, so muß der Strahl nach dem Ausgange aus dem Glase noch immer in der Ebene der Zeichnung bleiben, aber sich vom Loth abwärts neigen. Seine Richtung muß also irgendwo die Achse schneiden (es sei vor oder hinter dem Glase oder in unendlicher Entfernung). Wir nehmen an, es geschehe in I.

Die Aufgabe ist nun: wenn die Halbmesser der Flächen, die Lage der Mittelpunkte, und die Lage der Punkte F und G gegeben sind, die Lage des Punktes I zu finden. Soll diese Aufgabe in aller Strenge aufgelöst werden, so führt sie zu

schwierigen und verwickelten Rechnungen. Dagegen ist es leicht, sie näherungsweise, aber für unsern Zweck völlig hinreichend aufzulösen. Dies geschieht am zweckmäßigsten vermittelst einer Gleichung zwischen den beiden Halbmessers DA und EB, den beiden Vereinigungsweiten AF und BI, und dem als bekannt vorausgesetzten Brechungsverhältnisse.

Die Befugniß, von der Strenge nachzulassen, liegt darin, daß deutliche Bilder durchaus wenig gekrümmte Bogen erfodern. Daher sind in der Anwendung die spitzigen Winkel bei D und E jederzeit klein. Aber eben deswegen sind auch die spitzigen Winkel bei F, I, G und H klein, und die Bogen GA, HB dürfen als gerade auf der Achse senkrechte Linien, und, weil die Dicke des Glases jederzeit gering ist, als gleiche Linien, angesehen werden.

§. 20. Aufgabe. Es sei unter den im vorigen §. gemachten Voraussetzungen AD = f; EB = g; AF = a; BI = α; das Brechungsverhältniß aus Luft in Glas n : 1; es soll eine Näherungsgleichung zwischen f, g, a, α und n gefunden werden.

Auflösung. Weil die Winkel KGF, HGD, GHE, LHI klein sind, so dürfen wir das Brechungsverhältniß ihnen selbst beilegen (§. 5.). Es verhält sich also:

$$KGF : HGD = n : 1$$
$$LHI : GHE = n : 1;$$

folglich auch

$$KGF + LHI : HGD + GHE = n : 1.$$

Nun ist aber, nach einem bekannten geometrischen Satze, wenn wir die spitzigen Winkel bei F, E, D und I, bloß mit den eben genannten vier Buchstaben bezeichnen

$$KGF = F + D; \quad LHI = E + I;$$
$$\text{also } KGF + LHI = F + E + D + I.$$

Ferner ist, nach eben dem Satze, HGD + GHE = GME, und GME = E + D, also auch

$$HGD + GHE = E + D.$$

Setzt man diese Werthe in die obige Proportion, so erhält man

$$F + E + D + I : E + D = n : 1.$$

Oder, wenn man schließt: wie die Differenz des ersten und zweiten Gliedes zum zweiten, so ist die Differenz des dritten und vierten, zum vierten:

$$F + I : E + D = n - 1 : 1,$$

woraus die Gleichung folgt

$$(n-1)E + (n-1)D = F + I.$$

Nun ist aber, wie XLVI. 17. (so fern man GA und HB als senkrechte gerade Linien ansehen darf),

$$E \text{ proportional mit } \frac{BH}{EB} = \frac{BH}{g},$$

$$D \quad - \quad - \quad - \frac{AG}{AD} = \frac{AG}{f},$$

$$F \quad - \quad - \quad - \frac{AG}{AF} = \frac{AG}{a},$$

$$I \quad - \quad - \quad - \frac{BH}{BI} = \frac{BH}{\alpha}.$$

Setzt man diese Werthe in die obige Gleichung, so erhält man

$$\frac{(n-1)BH}{g} + \frac{(n-1)AG}{f} = \frac{AG}{a} + \frac{BH}{\alpha};$$

Wegen der geringen Dicke des Glases liegen aber die Punkte G und H sehr nahe zusammen, und da überdies die Linien FG, GH, HI, besonders GH, lauter kleine Winkel mit der Achse machen, so ist man befugt, $AG = BH$ zu setzen. Man könnte also statt beider einen einzigen Buchstaben, z. B. x, setzen, und dann die ganze Gleichung durch dieses x dividiren, so ist klar, daß es gänzlich herausfällt. Wir behalten also übrig:

$$\frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha};$$

welches die verlangte Näherungsgleichung ist.

§. 21. Zusätze. 1. Von den fünf Größen n, f, g, a, α kann jede als die gesuchte betrachtet werden; welches zu fünf Aufgaben führt, von denen sich mehr als eine wichtige Anwendung machen läßt.

2. Die Formel ist ferner für alle Arten von Gläsern, und für alle Lagen der Punkte F und I in der Achse brauchbar; wenn man nur in jedem besondern Falle darauf Rücksicht nimmt, ob die Stücke, die man als gegeben ansieht, es sein Halbmesser oder Vereinigungsweiten, eben so liegen, wie in unserer Figur, oder entgegengesetzte Lage haben. Wäre z. B. das Glas doppelt concav, so müßte f und g negativ gesetzt werden. Wäre die Vorderfläche plan, und die Hinterfläche concav, so müßte $f = \infty$ gesetzt werden, wodurch $\frac{n-1}{f} = 0$

wird; und g müßte negativ gesetzt werden. Käme der Strahl FG nicht aus einem Punkt der Achse vor dem Glase, sondern wäre er gegen einen Punkt der Achse hinter dem Glase gerichtet, so müßte man a negativ setzen. Wäre der Strahl FG der Achse parallel, so ist $a = \infty$, und $\frac{1}{a} = 0$; u. dgl. m. Die Folgerungen, welche wir aus unserer Formel ziehen werden, gelten folglich für alle sphärischen Gläser, und für alle bei denselben in der Anwendung vorkommende Fälle.

3. Da AG und BH gänzlich aus der Gleichung ausgefallen sind, so ist dies ein Beweis, daß alle aus F auf das Glas fallende Strahlen in dem einzigen Punkte I vereinigt werden, daß folglich hier ein Bild von F entsteht. Es kann aber in besondern Fällen dies Bild von F vor dem Glase liegen, wenn die Formel einen negativen Werth von α giebt; es kann in unendlicher Entfernung liegen, wenn $\frac{1}{\alpha} = 0$, d. i. $\alpha = \infty$ gefunden wird.

Da aber unsere Gleichung nur näherungsweise richtig ist, so ist es auch diese Folgerung. Das aus F auf das Glas fallende Licht sammelt sich nicht in einem geometrischen Punkte I, sondern in einem kleinen Raume, der aber unserm Auge, als ein bloßer Punkt erscheint, wenn die Flächen des Glases nicht zu stark gekrümmt sind.

4. Verbindet man Zusatz 2. und 3, so ergiebt sich: daß bei jeder Art sphärischer Gläser ein strahlender Punkt, der in der Achse irgendwo liegt, durch die Brechung wieder irgendwo in der Achse eine Abbildung erhält, die aber bald vor, bald hinter dem Glase, bald in unendlicher Entfernung liegen kann. Man kann daher in jedem Falle, das gebrochene Licht als einen Kegel betrachten; und da der Hauptstrahl durch die Mitte des Glases so gut als ungebrochen durchgeht, so muß die Spitze des Kegels in demselben liegen; welches eine von den Voraussetzungen war, die bei unserer Constructionsmethode zum Grunde lagen.

§. 22. Es sei α die gesuchte Größe, und $a = \infty$, d. h. der einfallende Strahl sei der Achse parallel, so ist

$$\frac{1}{a} = 0, \quad \text{also } \frac{1}{\alpha} = \frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g}.$$

Durch diese Formel wird die Weite bestimmt, in welcher sich Strahlen, die der Achse parallel sind, nach geschehener Brechung in der Achse durchschneiden.

Diese Weite heißt aber die Brennweite des Glases, und wenn wir diese p nennen, so erhalten wir

$$\frac{1}{p} = \frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g};$$

eine Hauptformel der Dioptrik, durch welche man in jedem Falle die Brennweite eines Glases aus den Halbmessern seiner Flächen und aus dem Brechungsverhältniß finden kann. Auch können durch sie mehrere andere Aufgaben aufgelöst werden, indem von den vier Größen p, n, f, g, wenn drei gegeben sind, allezeit die vierte gefunden werden kann.

Es sei das Glas ein doppelt convexes gleichseitiges Glas, so ist $f = g$; also

$$\frac{1}{p} = \frac{2(n-1)}{f} \text{ oder } p = \frac{f}{2(n-1)}.$$

Das Brechungsverhältniß sei 17 : 11 (§. 6.), so ist $n = \frac{17}{11}$; $n-1 = \frac{6}{11}$; $2(n-1) = \frac{12}{11}$ also $p = \frac{11}{12} f$, oder beinahe $= f$ (§. 13. Nr. 8.).

Ist das Glas doppelt concav und gleichseitig, so erhält man auf eben die Art $p = -\frac{11}{12} f$.

Ist das Glas planconvex, so ist ein Halbmesser, z. B. g, unendlich, also

$$\frac{n-1}{g} = 0, \text{ und } \frac{1}{p} = \frac{n-1}{f} \text{ oder } p = \frac{f}{n-1}.$$

Ist nun wie oben $n-1 = \frac{6}{11}$, so hat man $p = \frac{11}{6} f$, oder beinahe $2f$ (§. 13. Nr. 8.).

Für ein plan concaves Glas findet man eben so $p = -\frac{11}{6} f$.

Wer mit dem Gebrauche von Formeln nicht unbekant ist, sieht leicht, wie in jedem andern bestimmten Falle die Rechnung zu machen sei. Um die bequemste Form der Rechnung bemerklich zu machen, mag folgendes Beispiel dienen. Das Glas sei ein Meniskus, und die Vorderfläche vertieft; es sei $f = -10$; $g = +5$; $n-1 = \frac{6}{11}$, so ist

$$\frac{1}{p} = (n-1)\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right) = \frac{6}{11}\left(-\frac{1}{10} + \frac{1}{5}\right) = +\frac{6}{11} \cdot \frac{1}{10} = +\frac{3}{55};$$

also $p = +\frac{55}{3} = +18\frac{1}{3}$.

§. 23. Da allgemein $\frac{n-1}{f}+\frac{n-1}{g}=\frac{1}{a}+\frac{1}{\alpha}$, nach der vorigen Nummer aber die erste Seite dieser Gleichung $=\frac{1}{p}$ ist, so muß auch das zweite Glied allgemein $=\frac{1}{p}$ sein. Wir erhalten also auch

$$\frac{1}{p}=\frac{1}{a}+\frac{1}{\alpha},$$

dieselbe Formel, welche wir in der Katoptrik (XLVI. 17.) zur Vergleichung der Brennweite eines Spiegels mit den beiden Vereinigungsweiten gefunden haben; welches eben so, wie dort die Grundformel fast zu allen optischen Berechnungen ist.

§. 24. Aufgabe. Es ist die Lage eines strahlenden Punktes außer der Achse gegeben, dessen sämmtliche auf das Glas fallende Strahlen aber nur kleine Winkel mit der Achse machen: es soll die Lage der gebrochenen Strahlen bestimmt werden.

Auflösung. Es sei AB Fig. 122. ein sphärisches Glas, D der optische Mittelpunkt und Eh die Achse desselben. In G sei ein strahlender Punkt. Von ihm geht der Hauptstrahl GK so gut als ungebrochen durch das Glas. Ein anderer Strahl GA habe eine solche Lage, daß seine Richtung irgendwo die Achse schneidet. Wir wollen annehmen, dieses geschehe vor dem Glase in E. Dann kann man den Strahl GA betrachten, als käme er aus einem Punkte der Achse E. Dieser Strahl werde in der Richtung AK gebrochen, so daß er die Achse in F schneidet. Wird nun die Brennweite des Glases $=p$ gesetzt, so ist DF bestimmt durch die Gleichung

$$\frac{1}{p}=\frac{1}{DE}+\frac{1}{DF}\ (\text{§. 13.}).$$

Der gebrochene Strahl schneidet ferner den Hauptstrahl in H, so ist eigentlich die Lage dieses Punktes zu bestimmen. Sowohl die Lage von H als von G sei durch Coordinaten bestimmt. Zieht man nämlich Gg und Hh senkrecht auf die Achse, so sei

$$Dg=a;\quad Gg=b;\quad Dh=\alpha;\quad Hh=\beta.$$

Vergleicht man nun die hier gemachten Annahmen mit XLVI. 20, und die hier betrachtete Figur 122. mit der dort betrachteten 101, so wird man leicht entdecken, daß unsere Figur so gezeichnet ist, und alle Buchstaben so gewählt sind, daß

die dort gemachten Schlüsse wörtlich und buchstäblich auch auf unsere Figur passen, und daß daher hier, wie dort

$$(A)\ \frac{1}{p} = \frac{1}{Dg} + \frac{1}{Dh}; \quad \text{d. i. } \frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$$

ist. Was aber die Ordinaten betrifft, so ist hier, wie dort

$$(B)\ Dg : Dh = Gg : Hh; \text{ d. i.}$$

$$a : \alpha = b : \beta; \text{ oder } \beta = \frac{\alpha}{a} b.$$

also auch β bestimmt, wenn α gefunden ist.

Anm. Wenn der Gegenstand in einer unbestimmbaren Entfernung steht ($a = \infty$), aber doch seine Größe unter einem meßbaren Winkel φ erscheint, so ist auch seine Größe unbestimmbar ($b = \infty$). Dann ist die Formel für β unbrauchbar. Es ist aber schon oben bei §. 17. gezeigt worden, daß alsdann

$$\beta = \pm p \operatorname{Tang} \varphi.$$

ist, wo das Vorzeichen die Stellung des Bildes andeutet.

§. 25. Zusätze. 1. Da DA in der Gleichung (A) gar nicht vorkommt, so folgt, daß alle von G auf das Glas fallende Strahlen nach der Brechung in H zusammentreffen, daß also das gebrochene Licht einen Kegel bilde, dessen Spitze H in dem Hauptstrahle GI irgendwo liegt, es sei vor oder hinter dem Glase, oder in unendlicher Ferne; welches eine der Voraussetzungen war, die wir bei der Erklärung der Erscheinungen durch Zeichnung nur als Resultat der Beobachtung annahmen.

2. Da auch $Gg = b$ nicht in der Gleichung (A) vorkommt, so folgt, daß jeder strahlende Punkt in der Linie gG sein optisches Bild in der Linie hH habe, und zwar da, wo ein aus Gg gezogener Hauptstrahl die Hh schneidet. Hieraus ergiebt sich aber, daß, wenn Gg einen strahlenden Gegenstand vorstellt, die Hh sein optisches Bild, und daß dieses dem Gegenstande ähnlich sei. Und dieses war die andere Voraussetzung, die wir ohne theoretischen Beweis bei der Erklärung der Erscheinungen gemacht haben.

3. Man übersehe nicht, daß die Hauptgleichung (A) auch hier nur eine annähernde Richtigkeit hat, die aber desto mehr Genauigkeit giebt, je kleiner die spitzigen Winkel bei E, D und G sind. Ja die Annäherung ist in der Anwendung auf

Punkte außer der Achse noch etwas geringer als bei Punkten in der Achse, weil bei den im vorigen §. gemachten Schlüssen die nur beinahe richtige Annahme, daß AD für eine gerade und senkrechte Linie gelten könne, wiederholt werden mußte. Hieraus folgt aber (wie bei Spiegeln XLVI. 21.), daß die durch sphärische Gläser hervorgebrachten Bilder nahe bei der Achse am deutlichsten sind, von der Achse abwärts aber an Schärfe, so wie die Entfernung wächst, abnehmen.

4. Betrachtet man a und α als gegeben, so ergiebt sich aus der Gleichung (A) eine leichte Methode die Brennweite eines Sammelglases zu finden, wenn man den Abstand eines Gegenstandes, der außer der Brennweite stehet, und den Abstand seines Bildes hinter dem Spiegel mißt.

Theorie des optischen Mittelpunktes.

§. 26. Daß ein Strahl durch die Mitte eines Glases so gut als ungebrochen durchgehe, haben wir bei der Erklärung der Erscheinungen bloß daraus geschlossen, weil beide Glasflächen, an der Stelle, wo die Achse durchgeht, parallel sind. Dieses war für unsern Zweck hinreichend, weil alle Hauptstrahlen nur kleine Winkel mit der Achse machen müssen. Es läßt sich aber ohne Schwierigkeit beweisen, daß es in jedem Glase einen genau bestimmten Punkt giebt, der so liegt, daß jeder durch ihn gehende Strahl als ungebrochen zu betrachten ist, weil der dazu gehörige einfallende und ausfahrende Strahl genau parallel sind; wodurch der Begriff des optischen Mittelpunktes geometrische Bestimmtheit erhält.

§. 27. Lehrsatz. Es sei AB Fig. 123. der Durchschnitt eines doppelt convexen Glases durch die Achse CE. In C sei der Mittelpunkt der Vorderfläche ADB, in E der Mittelpunkt der Hinterfläche AFB. Man wähle in einer der Flächen einen Punkt G beliebig, und ziehe den dazu gehörigen Halbmesser GC. Dann ziehe man durch den andern Mittelpunkt E den Halbmesser EH parallel mit GC. Endlich ziehe man die Linie GH, welche die Achse in I schneidet, so ist I der optische Mittelpunkt.

Beweis. Da GC und EH parallel sind, so sind die Winkel CGH, GHE gleich. Nun sei GH ein Lichtstrahl, so macht er mit den Einfallslothen GC, HE gleiche Winkel im Glase. Zu gleichen Winkeln im Glase gehören aber auch gleiche Win-

kel in der Luft, woraus, wie leicht einzusehen, folgt, daß der zu GH gehörige einfallende Strahl, dem ausfahrenden parallel ist. Die Richtung eines Strahles, der durch I geht, wird also nicht geändert, und wegen der geringen Dicke des Glases ist der ausfahrende parallele Strahl nur unmerklich nach einer Seite verrückt.

Daß das Erwiesene aber von allen Strahlen gilt, die durch I gehen, läßt sich am bequemsten erweisen, wenn man die Lage dieses Punktes durch Rechnung bestimmt.

Es sei also der Halbmesser DC oder GC = f, desgleichen EF oder EH = g, die Dicke des Glases DF = d, und der Abstand des Punktes I von der Vorderfläche DI = x, also IF = f — x. Dann hat man wegen der leicht einzusehenden Ähnlichkeit der Dreiecke GIC, EIH, die Proportion

$$GC : IC = EH : EI, \text{ d. i.}$$
$$f : f - x = g : g - d + x.$$

Hieraus folgt:

$$fg - df + fx = fg - gx;$$

und hieraus ferner:

Abstand von der Vorderfläche $x = \frac{f}{f+g} d$;

Abstand von der Hinterfläche $f - x = \frac{g}{f+g} d$.

Es ist klar, daß der Werth von x = DI ungeändert bleibt, man mag den Punkt G annehmen, wo man will. Folglich ist I das optische Centrum; und jeder hindurch gehende Strahl muß als ungebrochen betrachtet werden.

§. 28. Es ist gar nicht schwer, den optischen Mittelpunkt bei jedem sphärische Glase durch eine ähnliche Zeichnung zu finden. Noch kürzer aber kann es vermittelst der gefundenen Formel geschehen.

1. Das Glas sei gleichseitig convex oder concav, so ist g = f, also $x = \frac{1}{2} d$, d. h. I liegt genau in der Mitte.

Ist ein doppelt convexes oder concaves Glas ungleichseitig, so liegt I näher bei der gekrümmteren Fläche.

2. Ist eine Seite plan, z. B. die Vorderfläche, so ist $f = \infty$. Dann verschwindet g gegen f im Nenner, und es bleibt x = d, d. h. der Punkt I liegt in der Mitte der Hinterfläche. Setzt man die Hinterfläche plan, also $g = \infty$, so erhält man

$$x = \frac{f}{\infty} d = 0,$$

d. h. der Punkt I liegt wieder in der Mitte der gekrümmten Fläche.

3. Ist das Glas concav-convex, oder convex-concav, so ist der Halbmesser der concaven Seite negativ zu setzen. Es sei die Hinterfläche concav, so ist

$$x = \frac{f}{f-g} d.$$

Dann liegt der optische Mittelpunkt in jedem Falle außer dem Glase, aber seine Stelle kann nach Verschiedenheit der Größe von f und g sehr verschieden sein.

Ist $g > f$, so ist $\frac{f}{f-g}$ negativ; also liegt I nicht, wie in unserer Figur, hinter, sondern vor der Vorderfläche.

Ist $g < f$, so ist $\frac{f}{f-g} > 1$; also $x > d$, d. h. der Punkt I liegt außer der Hinterfläche.

Wäre $f = g$ (ein Fall der unüberwindliche technische Schwierigkeiten hat, und von keinem optischen Gebrauche ist), so wäre $x = \infty$, d. h. jeder der Achse parallele Strahl würde ungebrochen durchgehn, und das Glas würde nicht anders als ein Planglas mit parallelen Flächen wirken.

Übrigens ist klar, daß man für jeden bestimmten Werth von f und g auch in jedem Falle die Lage des optischen Mittelpunktes bestimmt finden könne.

Achtundvierzigstes Capitel.

Von den wichtigsten zusammengesetzten optischen Werkzeugen, die aus einerlei Glasart bestehn.

Von den Fernröhren überhaupt.

§. 1. Sphärische Gläser können auf sehr mannigfaltige Art so verbunden werden, daß man entfernte Gegenstände dadurch näher und größer erblickt. Eine solche Zusammensetzung heißt ein Fernrohr oder Teleskop, und zwar, wenn es blos aus Gläsern besteht, ein dioptrisches, wenn sphärische Spiegel dabei gebraucht werden, ein katoptrisches. Das Glas oder der Spiegel, der das Licht unmittelbar vom Object

empfängt, heißt Objectivglas, Objectivspiegel. Die übrigen heißen Oculargläser oder Augengläser, und werden von der Seite des Objectivglases her gegen das Auge gezählt; erstes, zweites Ocular ꝛc.

§. 2. Wenn die Wirkung eines Fernrohrs oder andern zusammengesetzten Instrumentes möglichst vollkommen sein soll: so muß jedes Glas richtig centrirt sein; die Achsen aller Gläser müssen eine einzige gerade Linie machen; jedes Glas muß eine genau bestimmte Brennweite, und besonders eine richtig proportionirte Öffnung haben; zwischen den Gläsern werden an bestimmten Stellen ringförmige Scheiben, mit kreisförmigen Öffnungen aufgestellt, die man Blendungen nennt, weder die Stelle noch der Durchmesser einer Blendung ist willkührlich. Endlich müssen alle Gläser in vorgeschriebenen Entfernungen aufgestellt, und selbst dem Auge seine Stelle genau bestimmt werden; man macht entweder bloß das letzte Ocular beweglich, oder schließt noch gewöhnlicher die sämmtlichen Oculare in eine Röhre ein, um ihre Entfernung vom Objectiv dem Bedürfniß des Auges gemäß stellen zu können.

§. 3. Durch ein Fernrohr erblickt man jeden entfernten Gegenstand unter einem größern Winkel, als mit bloßem Auge. Die Zahl, welche anzeigt, wie viel mal dieser Winkel vergrößert sei, heißt die Vergrößerungszahl.

Der Raum, den man übersieht, ist kreisförmig, und heißt das Gesichtsfeld. Das Maaß desselben ist der Winkel, unter welchem das bloße Auge ohne Fernrohr den Raum sehen würde, den man im Fernrohr übersehen kann.

Die Stärke des Lichtes, mit welcher man die Gegenstände sieht, heißt die Helligkeit, und die Schärfe, mit der sich jeder sichtbare Punkt zeigt, die Deutlichkeit des Fernrohrs.

Alle diese Dinge sind einer mathematischen Bestimmung empfänglich, deren Theorie aber dem Studium der angewandten Mathematik vorbehalten bleiben muß. Alles, was in der Naturlehre gefodert werden kann, beschränkt sich darauf, die Wirkungen der Fernröhre aus den Eigenschaften der sphärischen Gläser und Spiegel begreiflich zu machen.

§. 4. Allgemein ist über die Zusammensetzung mehrerer Gläser noch folgendes zu bemerken.

Wir haben im vorigen Capitel gezeigt, daß jedes sphärische Glas ein Bild des Gegenstandes, von dem es Strahlen empfängt, hervorbringt, daß aber dieses Bild bald vor, bald hinter dem Glase, bald in unendlicher Ferne liegen kann. Stellt man nun hinter dem ersten Glase ein zweites so auf, daß ihre Achsen zusammenfallen, so vertritt das durch das erste Glas gemachte Bild für das zweite Glas die Stelle eines Objects. Es wird folglich das zweite Glas ein zweites Bild von dem Gegenstande hervorbringen, das aber wieder vor, oder hinter diesem Glase, oder in unendlicher Entfernung liegen kann. Das durch das zweite Glas hervorgebrachte Bild vertritt wieder die Stelle eines Objects für ein drittes Glas, u. s. f. Kurz man sieht leicht ein, wieviel Gläser auch hinter einander auf einer gemeinschaftlichen Achse, und in welchen Entfernungen sie auch aufgestellt sein mögen, so wird allezeit jedes Glas ein eigenes Bild des Gegenstandes hervorbringen.

Einige dieser Bilder kommen zur Wirklichkeit, indem die Strahlen, die zu einem bestimmten Punkte des Objectes gehören, wirklich in einen Punkt zusammenschießen (wie bei den Bildern eines Sammelglases in der Camera obscura), diese nennt man wirkliche oder physische Bilder. Andere existiren nicht wirklich, indem entweder das Licht nur so fortgeht, als käme es aus einem solchen Bilde (wie das Bild, welches man durch eine Loupe oder Lornghette sieht), oder indem die Strahlen, welche ein Bild hervorbringen wollen, durch ein neues Glas aufgefangen werden, ehe das Bild zur Wirklichkeit kommt; diese heißen geometrische Bilder.

Man kann schon hieraus im Allgemeinen beurtheilen, was für eine Bewandniß es mit der Wirkung eines Fernrohres habe. Befindet sich nämlich das Auge in der gehörigen Stelle hinter dem letzten Ocular, so ist das, was es sieht, nicht der Gegenstand selbst, sondern das dem letzten Glase zugehörige Bild. Dieses muß folglich vor dem letzten Glase, und zwar vom Auge in der Weite des deutlichsten Sehens stehen. Was die Größe des Bildes betrifft, so kann es an sich sehr klein sein, besonders in Vergleichung mit dem Gegenstande selbst; aber es muß dem Auge unter einem größern Sehwinkel (XLV. 8.) erscheinen, als der Gegenstand selbst ohne Fernrohr. Die Helligkeit und Deutlichkeit des Bildes sind wesentliche Erfoderniße, hängen aber von entgegengesetzten Bedingungen ab. Denn die Helligkeit nimmt zu, wenn man alle Öffnungen der Gläser vergrößert, die Deutlichkeit, wenn man sie verkleinert. Da aber ein an sich scharfes Bild undeutlich wird, wenn es zu wenig Licht hat, so begreift man,

daß die gesammten Öffnungen eine sehr bestimmte Größe haben müssen, um die möglichst beste Wirkung zu thun. Die Theorie hievon gehört aber, wie überhaupt die ganze Anordnung eines Fernrohres, zu den höhern optischen Rechnungen. Was diese Untersuchungen noch verwickelter macht, ist der Umstand, daß auch die Größe des Gesichtsfeldes von der Öffnung (zwar nicht des Objectivglases, aber wohl) der sämmtlichen Ocularen abhängig ist. Es gehört aber ein möglichst großes Gesichtsfeld zu den wichtigsten Vorzügen eines Fernrohres. Denn sieht man von einem Gegenstande (z. B. vom Monde) bloß ein Stück, so ist es schwer zu einer deutlichen und anschaulichen Vorstellung von dem Verhältniß aller Theile zum Ganzen zu gelangen.

Für die Beobachtung himmlischer Gegenstände darf das Bild des letzten Oculars verkehrt sein; bei der Betrachtung irdischer Gegenstände muß es aufrecht stehen. Astronomische und Erdfernröhre erfodern daher eine verschiedene Anordnung der Oculare. Man verbindet indessen gewöhnlich beide, bei einem und demselben Objectivglase, indem man mehr als eine Ocularröhre hat.

Die oben XLVII. 18. Nr. 2. gemachten allgemeinen Bemerkungen, daß sich das Auge beim Sehen durch Gläser gewöhnlich in einer unnatürlichen Spannung befinde, gilt ganz besonders von Fernröhren. Denn hier entgehen dem Beobachter fast alle (oben XLV. 11. angegebenen) Mittel, ein richtiges Urtheil über die Entfernung des gesehenen Bildes zu fassen. Es geschieht daher nur gar zu leicht, daß die Einbildungskraft dasselbe in eine falsche Entfernung setzt. Für diese ordnet sich dann die Krümmung der durchsichtigen Hornhaut

(XLV. 3.). Es ist aber einleuchtend, daß unter diesen Umständen kein deutlicher Blick entstehen könne, und hierin liegt der Grund, warum oft gesunde Augen mit einem Fernrohre gar nicht fertig werden können. Durch Versuche und öftere Übung kann man es aber immer dahin bringen, die Entfernung des Bildes richtig zu beurtheilen, und deutlich zu sehen. Man muß daher durch optische Instrumente sehen lernen.

Läßt man mehrere ungeübte Personen durch ein Fernrohr sehen (z. B. nach dem Jupiter), und läßt dann jeden beschreiben, wie groß er den Gegenstand gesehen habe, so ist es auffallend, wie verschieden sie die Größe angeben. Ein deutlicher Beweis, daß jeder das Bild in eine andere Entfernung setzt: denn da der Winkel, unter welchem sie das Bild sehen, bei allen, welche durch dasselbe Fernrohr sehen, gleich ist, so kann eine Verschiedenheit des Urtheils über die eigentliche Größe des Bildes bloß daher rühren, daß sie es in verschiedene Entfernungen setzen.

Es kommen aber bei der Zusammenstellung mehrerer Gläser Fälle vor, die im vorigen Capitel, wo das Object immer ein wirklicher Gegenstand war, noch nicht betrachtet worden sind. Ein wirkliches Object nämlich steht allezeit vor dem Glase; ein Bild hingegen, welches die Stelle eines Objects für ein folgendes Glas vertritt, kann auch hinter diesem Glase liegen. Dieser Fall käme z. B. vor, wenn man in der 115ten Fig. das Bild fh nicht zur Wirklichkeit kommen ließe, sondern das Licht durch ein anderes zwischen AB und fh irgendwo gestelltes Glas auffinge. Man sieht hieraus, in welchem Sinn man sagen könne, das Object stehe hinter dem Glase.

Dieser Fall führt übrigens auf eine eigene Folge von Erscheinungen, welche sich aber auch durch eben dieselbe Constructionsmethode aufklären lassen, deren wir uns im vorigen Capitel bedient haben.

Erscheinungen durch sphärische Gläser, wenn das Object hinter dem Glase steht.

§. 5. Wenn das Object hinter einem Sammelglase steht, so entsteht ein kleineres, näher am Glase liegendes, wirkliches Bild, von gleicher Lage mit dem Object.

Es sei FH Fig. 124. das Bild, welches durch ein auf der Seite D liegendes Glas hervorgebracht werden würde, wenn das Licht nicht durch das Glas AB aufgefangen würde, ehe das Bild zur Wirklichkeit kommen kann. Wir wissen, daß dieses Bild durch zusammenschießende Strahlen entsteht, die sich, z. B. um den Punkt F zu bilden, alle in diesem Punkte durchkreuzen. Unter diesen zusammenlaufenden Strahlen kann zuerst einer LC sein, welcher durch den optischen Mittelpunkt C, also ungebrochen in der Richtung CF hindurch geht. Zweitens kann sich unter diesen Strahlen einer KA befinden, der mit der Achse parallel geht. Dieser wird nach dem Brennpunkte E gebrochen. Die Strahlen CF und AE durchschneiden sich in dem Punkte f; und hier müssen sich alle Strahlen vereinigen, die ohne das Glas AB sich in F vereinigt haben würden, d. h. in f entsteht ein Bild von F, und wenn man daher fh, wie immer, senkrecht durch die Achse zieht, so ist fh das Bild von FH. Man sieht übrigens leicht ein, daß es eben nicht nöthig ist, daß die beiden Strahlen KA und LC wirklich vorhanden sind. Die Strahlen, welche ei-

nen Punkt F bilden sollen, liegen immer innerhalb eines kleinen Winkels; und es könnte wohl sein, daß sich innerhalb dieses Winkels weder ein der Achse paralleler, noch ein durch das optische Centrum gehender befände. Aber da alle nach F gehende Strahlen einen einzigen Vereinigungspunkt f haben, so ist es einerlei, ob die Strahlen, durch welche wir die Lage von f aufsuchen, wirklich vorhanden sind, oder nicht.

Aus Betrachtung der Figur ergiebt sich übrigens leicht, daß die Erscheinung immer im Wesentlichen die nämliche bleiben wird, das Object FH stehe, wo es wolle, hinter dem Glase. Sie besteht nämlich immer aus einem zwischen dem Glase und dem Brennpunkte befindlichen verkleinerten Bilde, welches aufrecht oder verkehrt ist, je nachdem das Object FH aufrecht oder verkehrt steht. Bloß die Größe und Entfernung dieses Bildes verändert sich, wenn sich die Entfernung des Objects verändert.

Hierauf gründet sich die schon erwähnte Wirkung eines Collectivglases hinter dem Brennglase (XLVII. 18. Nr. 1.).

§. 6. Die Erscheinungen, welche ein Zerstreuungsglas zeigt, wenn der Gegenstand hinter dem Glase steht, sind zwar mannigfaltiger, doch werden sie sich nach dem bisher vorgetragenen ohne Schwierigkeit übersehen lassen.

a. Fig. 125. stellt den Fall vor, wenn das Bild FH, welches die Stelle des Objectes vertritt, innerhalb der hintern Brennweite CE des Glases AB steht. Die beiden Strahlen KA und LC, welche ohne das Glas sich in F schneiden würden, haben nach dem Durchgange durch das Glas die convergirenden Richtungen Af und

Cf. Es entsteht also ein größeres und entfernteres Bild fh hinter dem Glase, welches mit FH gleiche Lage hat.

b. Fig. 126. stellt den Fall vor, wenn das Bild FE im hinteren Brennpunkte E selbst steht. Hier haben die beiden Strahlen KA und LC, welche sich ohne das Glas in F schneiden würden, nach dem Durchgange die parallelen Richtungen AM und CF, so daß also nirgend, oder, wenn man will, in unendlicher Entfernung ein Bild hinter oder vor dem Glase entsteht.

c. Fig. 127. stellt endlich den Fall vor, wenn das Bild FH seine Stelle außer der hintern Brennweite CE hat. In diesem Falle haben die beiden auf F zugehenden Strahlen KA und LC nach dem Durchgange die divergirenden Richtungen AM und CF. Werden diese vor dem Glase, so weit als nöthig verlängert, so schneiden sich ihre Richtungen unter der Achse in f. Die Strahlen gehen also nach dem Durchgange durch das Glas so fort, als kämen sie aus einem Bilde fh, welches vor der vordern Brennweite liegt, und gegen FG verglichen eine verkehrte Lage hat. Die Größe und Entfernung desselben kann aber sehr verschieden sein, je nachdem FH näher bei E oder entfernter liegt. Liegt FH nahe bei E, so ist fh entfernt und groß. Ist EH = CE, so sind beide Bilder gleich groß und gleich entfernt; liegt aber FH entfernter, so ist fh kleiner, und näher bei dem Brennpunkte D. In den Brennpunkt D selbst fällt das Bild, wenn FH in unendlicher Entfernung hinter dem Glase ist, oder wenn die zu einem Punkt gehörigen Strahlen parallel auf das Glas fallen.

Die merkwürdigsten Arten von gemeinen Fernröhren.

§. 7. Das erste Instrument dieser Art wurde im Anfange des 17ten Jahrhunderts zweimal erfunden. Einmal durch Zufall wahrscheinlich von einem Brillenmacher in Middelburg, Jansen, und das zweite Mal von dem berühmten Galiläi durch Theorie und Nachdenken. M. s. Gehler II. 176. u. f. Fischer II. 400. u. f. Man nennt daher diese Art das holländische oder galiläische Fernrohr. Das Objectivglas ist, wie bei allen Arten von Fernröhren, ein Sammelglas, das Ocular ein Zerstreuungsglas von kürzerer Brennweite. Das letzte wird so gestellt, daß das verkehrte Bild entfernter Gegenstände, welches das Objectivglas macht, noch hinter der hinteren Brennweite des Oculars liegt; wie §. 6. c. Fig. 127. Ein Auge dicht hinter AB wird also statt FH das Bild fh sehen. Da aber FH in unserem Falle verkehrt ist, so ist fh aufrecht. Das Fernrohr vergrößert den scheinbaren Durchmesser so vielmal, als die Brennweite des Oculars in der Brennweite des Objectivs enthalten ist. Zu starken Vergrößerungen ist es unbrauchbar, weil das Gesichtsfeld zu klein wird; daher braucht man es gegenwärtig bloß als Taschenperspectiv.

§. 8. In Keplers Sternrohr wird das verkehrte Bild, welches das Objectivglas macht, durch ein Sammelglas von kleiner Brennweite gerade so betrachtet, wie man ein wirkliches Object durch eine Loupe betrachtet (XLVII. §. 15. Nr. 1. Fig. 113.). Da eine Loupe die Gegenstände nicht umkehrt, so sieht man durch dieses auch jetzt noch brauchbare Fernrohr die Gegenstände verkehrt, welches für astronomische Beob-

achtungen gleichgültig ist. Die Vergrößerung findet man wie bei dem galiläischen Fernrohr. Für starke Vergrößerungen muß es eine unbequeme Länge erhalten.

§. 9. Man kann das Gesichtsfeld eines Sternrohres sehr beträchtlich vergrößern, wenn man das Bild des Objectivglases nicht zur Wirklichkeit kommen läßt, sondern das Licht durch ein etwas breites Collectivglas früher auffängt. Dann entsteht nach §. 5. Fig. 124. ein kleineres Bild hinter diesem Glase, welches durch das letzte Ocular wie durch eine Loupe betrachtet wird. Man verliert bei dieser Einrichtung an Vergrößerung nichts. Denn das Bild verträgt in dem Verhältniß, in welchem es kleiner geworden ist, eine stärkere Vergrößerung.

Fernröhre von dieser Einrichtung, die wenig vergrößern, aber ein großes Gesichtsfeld und viel Licht haben, nennt man Aufsucher, oder Cometensucher.

§. 10. Schon in dem ersten Viertel des 17ten Jahrhunderts erfand ein Jesuit, P. Rheita, das Erdfernrohr, worin mit dem Objectivglas drei Sammelgläser von einer kleineren aber gleichen Brennweite verbunden werden. Die drei Oculare schließt man gewöhnlich in eine einzige Röhre so ein, daß der hintere Brennpunkt eines jeden mit dem vorderen des nähstfolgenden Glases zusammenfällt. Beim Gebrauche wird die Ocularröhre so weit in das Rohr hineingeschoben, daß das Bild des Objectivglases ein klein wenig innerhalb der vordern Brennweite des ersten (vom Auge entferntesten) Oculars zu stehen kommt. Bei dieser Stellung würde ein Auge, welches hinter dem ersten Ocular stände, ein ziemlich entferntes, aber vergrößertes und verkehrtes Bild des Gegenstandes sehen (XLVII. 15.

Fig. 113). Dieses verkehrte Bild liegt also weit vor der Brennweite des zweiten Oculars, und macht daher hinter dem hinteren Brennpunkte dieses Glases ein aufrechtes Bild des Gegenstandes (XLVII. 15. Fig. 115). Da dieses Bild innerhalb der vordern Brennweite des dritten Oculars liegt, so wird es durch dasselbe wie durch eine Loupe betrachtet (XLVII. 15. Fig. 113). Die Vergrößerung wird bei diesem Fernrohr wie bei den beiden vorhergehenden gefunden, wenn man die Brennweite des Objectivglases durch die Brennweite eines der Oculargläser dividirt. Für starke Vergrößerungen muß es aber ebenfalls eine unschickliche Länge erhalten.

§. 11. Man kann durch ungleiche Brennweiten der Oculare, desgleichen durch Hinzufügung eines vierten Oculars auf mehr als eine Art ein größeres Gesichtsfeld ohne Nachtheil der Deutlichkeit und Vergrößerung erhalten; aber die hier zu beobachtenden Gränzen erlauben uns nicht, diese Einrichtungen näher zu beschreiben, besonders da diese Art Fernröhre durch die Erfindung der achromatischen Fernröhre viel von ihrem ehemaligen Werthe verloren haben.

§. 12. Dies sind die verschiedenen Arten von Fernröhren, durch deren Erfindung sich das 17te Jahrhundert auszeichnete. Newtons Spiegel-Teleskop, so wie die achromatischen Fernröhre bleiben dem 50sten Capitel vorbehalten.

§. 13. Wenn die Brennweiten der Gläser, ihre Entfernungen, uud ihre Öffnungen bei einem Fernrohr gegeben sind, so läßt sich daraus durch Rechnung die Vergrößerung, das Gesichtsfeld, und selbst der Grad der Helligkeit und Deutlichkeit finden.

Aber diese Methode greift zu tief in das Gebiet der höheren mathematischen Optik ein, als daß wir uns hier darauf einlassen könnten. Da es indessen für den Besitzer eines Fernrohrs interessant ist, die Vergrößerung und das Gesichtsfeld seines Fernrohrs zu kennen, so wollen wir noch kürzlich zeigen, wie beides mechanisch gefunden werden könne.

§. 14. Ungefähr schätzen läßt sich die Vergrößerung, wenn man nach einem und demselben Gegenstande mit dem einen Auge durch das Fernrohr, mit dem andern unmittelbar sieht, und die sichtbare Größe beider Bilder nach dem Augenmaße vergleicht.

Sehr genau läßt sie sich durch ein eigenes kleines Instrument von Ramsdens Erfindung finden. Von diesem Instrumente, das man im Deutschen sehr gut einen Vergrößerungsmesser nennen kann, findet man unter dem Namen Dynamometer eine Beschreibung in Bode's astronom. Jahrb. 1795. S. 225. u. f. vergl. mit dem 1sten Supplementbande S. 134. u. f. Die Idee des Instrumentes ist kürzlich folgende. Wenn man irgend ein Fernrohr (nur nicht ein Galiläisches) gegen den freien Himmel gerichtet befestigt, und dann ein Blatt dünnes Papier hinter das letzte Ocular hält, an die Stelle, wo beim Gebrauch das Auge steht, so erblickt man, wenn das Papier seine rechte Stelle hat (die sich durch Probiren leicht findet), einen hellen, scharf begränzten Lichtkreis. Man messe den Durchmesser desselben aufs genaueste, ferner messe man die Öffnung des Objectivglases (es versteht sich, beides nach einerlei Maaß), und dividire mit jenem Durchmesser in diese Öffnung, so findet man, wieviel das Instrument vergrößert. Statt des Papiers nimmt Ramsden eine

dünne Scheibe von Horn, zeichnet darauf eine sehr feine Eintheilung, die sich auf den Maßstab für das Objectivglas bezieht, und befestigt die Scheibe in einer Röhre, die man an das Fernrohr stecken kann, um durch ein vergrößerndes Ocular den Durchmesser des Lichtkreises so bequem als genau messen zu können.

Die Theorie dieses sinnreichen Instrumentes läßt sich hier nicht vortragen. Wir bemerken bloß, daß der gedachte Lichtkreis ein Bild des Objectivglases selbst ist, von welchem sich erweisen läßt, daß es gerade so vielmal kleiner im Durchmesser ist, als das Fernrohr entfernte Gegenstände vergrößert. Man kann daher, und zwar mit Vortheil für Licht und Deutlichkeit, das Objectivglas herausnehmen, und statt desselben bloß eine scharf begränzte Blendung bei dem Versuche einsetzen.

Daß der Lichtkreis hinter dem letzten Ocular in der That ein Bild des Objectivglases ist, davon kann man sich auch ohne Theorie durch einen leichten Versuch überzeugen. Man nehme das Objectivglas heraus, und setze dann an die Stelle desselben zwei Stückchen Draht, so daß sie einen kleinen Winkel einschließen. Man wird dann ihr Bild in dem Lichtkreise sehen. Auch kann man auf diese Art entdecken, ob der Lichtkreis wirklich die ganze Öffnung des Objectivglases darstellt. Denn durch unrichtig berechnete oder angebrachte Blendungen, kann bisweilen auch der äußerste Rand der Objectivöffnung in dem Lichtkreise verdeckt sein.

§. 15. Das Gesichtsfeld eines Fernrohrs läßt sich schätzen, wenn man seinen Durchmesser mit dem anderweitig bekannten sichtbaren Durchmesser eines Gegenstandes vergleicht, den man durch das Rohr betrachtet. Der Durchmesser der Sonne oder des Mondes schickt sich dazu besonders gut. Sie sind beide mit ge-

ringer Veränderung gleich, nämlich ungefähr einen halben Grad oder dreißig Minuten.

Genau kann man das Gesichtsfeld finden, wenn man auf einer Sterncharte einen kenntlichen Fixstern aufsucht, der im Äquator, oder sehr nahe dabei steht. Man befestigt das Fernrohr in der Richtung gegen diesen Stern, läßt ihn mitten über das Feld des Fernrohrs durchgehn, und zählt, wie viel Secunden Zeit während dieses Durchganges verstreichen. Vier Zeitsecunden betragen allezeit eine Minute Winkel für das Gesichtsfeld.

Das zusammengesetzte Mikroskop.

§. 16. Das zusammengesetzte Mikroskop wurde bald nach der Erfindung der Fernröhre bekannt. Aber sein Erfinder ist sehr ungewiß. M. s. Gehler III. 215. u. f. Fischer III. 579. u. f.

In Ansehung der Vergrößerung hat das zusammengesetzte Mikroskop vor dem einfachen keinen Vorzug; aber es hat mehr Gesichtsfeld, mehr Licht, und verstattet eine bequemere Manipulation der kleinen Objecte, die man betrachtet.

Man kann es aus zwei, drei und mehr Gläsern zusammensetzen. Das Objectivglas ist allezeit eine kleine mikroskopische Sammellinse, deren Brennweite man nicht über einen halben Zoll nimmt. Gewöhnlich hat man solcher Linsen mehrere, von stufenweise abnehmenden Brennweiten, weil auch hier wie bei einfachen Mikroskopen die Vergrößerung desto stärker wird, je kleiner die Brennweite der Objectivlinse ist.

Das Object bekommt seine Stelle kurz vor dem vordern Brennpunkte der Objectivlinse. Folglich ent-

steht in einer größeren Entfernung hinter der Linse ein verkehrtes und vergrößertes Bild des Objects (XLVII. 15. Fig. 115.). Dieses Bild kann man durch ein ein- oder zweizölliges Sammelglas wie durch eine Loupe betrachten. Dies ist die Construction des Mikroskops aus zwei Gläsern.

Vorzüglicher aber ist die Zusammensetzung aus dreien. Man läßt das Bild, welches die Objectivlinse, wie vorher, machen würde, nicht zur Wirklichkeit kommen, sondern fängt es mit einem etwa dreizölligen etwas breiten Glase vor seiner Entstehung auf, so daß nun nach §. 5. dieses Cap. (Fig. 124.) ein kleineres Bild des Objects hinter diesem Glase entsteht, welches dann durch das zweite etwa einzöllige Ocular wie durch eine Loupe betrachtet wird.

Mehr Gläser zusammenzusetzen ist nicht rathsam, weil das Licht geschwächt wird, und selbst die Deutlichkeit verliert, wenn die Zusammensetzung nicht nach einer sehr richtigen Theorie berechnet ist.

§. 17. Der äußere Mechanismus der zusammengesetzten Mikroskope wird von verschiedenen Künstlern sehr verschieden gearbeitet. Er ist ein ziemlich wesentliches Stück bei einem guten Mikroskope. Das Nähere hierüber ist in den physikal. Wörterbüchern und andern größeren Werken nachzusehen.

§. 18. Die Vergrößerung eines zusammengesetzten Mikroskopes, nebst Gesichtsfeld ꝛc. läßt sich eben so, wie bei einem Fernrohr, aus den Brennweiten und Entfernungen der Gläser berechnen. Diese theoretische Untersuchung muß aber hier aus denselben Gründen wie bei den Fernröhren übergangen werden (§. 13.).

Schätzen läßt sich die Vergrößerung durch folgenden Versuch. Man legt ein kleines Object von genau bekannter Größe unter das Mikroskop, sieht mit dem einen Auge in das Instrument, und mit dem andern nach den Spitzen eines Zirkels, den man in der Weite des deutlichen Sehens vor das andere Auge hält. Man spannt die Spitzen dieses Zirkels so weit auseinander, bis sie um den durch das Mikroskop gesehenen Durchmesser des Objects von einander entfernt scheinen. Diese Weite mißt man auf einem verjüngten Maßstabe, und dividirt sie durch den nach eben dem Maßstabe gemessenen wahren Durchmesser des Objects.

Auch bei den zusammengesetzten Mikroskopen kann man den oben §. 14. beschriebenen Vergrößerungsmesser zu diesem Zwecke anwenden; und zwar vollkommen auf dieselbe Art, wie bei einem Fernrohr; nur muß die Zahl, welche der Vergrößerungsmesser giebt, noch mit derjenigen Vergrößerungszahl multiplicirt werden, welche dem Objectiv als einfachem Mikroskop (nach XLVII. §. 18. Nr. 4.) zukommen würde; d. h. sie muß mit der Weite des deutlichen Sehens (8 Zoll) multiplicirt, und mit der Brennweite der Linse dividirt werden. Es versteht sich, daß die beiden letzten Größen in einerlei Maß ausgedrückt sein müssen.

Die Vergrößerung hängt größtentheils nur von der Objectivlinse ab. Denn was man durch den Vergrößerungsmesser findet, ist gewöhnlich eine von 1 nicht sehr verschiedene Zahl, die bisweilen selbst kleiner als 1 sein kann.

Neunundvierzigstes Capitel.

Die dioptrische Farbenlehre.

Das Glasprisma.

§. 1. Wir müssen jetzt die mit jeder Brechung verbundenen Erscheinungen der Farbenzerstreuung (XLVII. 6. Nr. 4.) genauer untersuchen. Das einfache Werkzeug, durch welches Newton die Gesetze dieser merkwürdigen Erscheinung auf deutliche Begriffe zurückführte, war ein dreiseitiges Prisma von Glas, wovon ABC Fig. 128. einen senkrechten Durchschnitt vorstellt. Gemeiniglich schleift man ein solches Prisma gleichseitig, so daß jeder der drei Winkel BAC, ABC, ACB, sechzig Grade groß wird; doch braucht man zu besondern Zwecken auch ungleichseitige. Gemeiniglich macht man es fünf bis sechs Zoll lang, um mit beiden Augen zugleich hindurch sehen zu können. Läßt man Licht durch ein solches Prisma gehen, so wird jeder Strahl darin zweimal, z. B. in den Flächen BA und CA, und zwar nach derselben Seite gebrochen. Dadurch wird die Brechung und die Farbenzerstreuung sehr vergrößert, und man kann das gebrochene Licht in jeder beliebigen Entfernung hinter dem Prisma untersuchen. Den Winkel BAC, welchen diejenigen beiden Flächen BA und CA des Prisma machen, durch welche das Licht geht, nennt man den jedesmaligen brechenden Winkel. Wir wollen zuerst in §. 2. und 3. die Haupterscheinungen historisch beschreiben, und dann in den folgenden Paragraphen sie näher zergliedern.

§. 2. Hält man ein solches Prisma horizontal vor beide Augen, so daß einer der Winkel BAC, wie

Fig. 128. mit der Spitze gerade unterwärts gekehrt ist, und betrachtet dann durch eine der brechenden Flächen, z. B. CA, die gerade gegenüberliegenden Gegenstände, so sieht man alles viel tiefer, als es wirklich liegt; und zwar werden alle seitwärts liegenden Gegenstände noch stärker als die gerade gegenüberliegenden aus ihrer Stelle gerückt, so daß eine horizontale gerade Linie, wie ein aufwärts gekrümmter Bogen erscheint. Hiebei erscheinen die Ränder aller Gegenstände mit Regenbogenfarben umgeben, aber eben deswegen sehr undeutlich. Diese Erscheinungen nennt Hr. v. Göthe subjective, welche Benennung wir beibehalten wollen.

§. 3. Noch merkwürdiger und lehrreicher sind die Versuche in einem verfinsterten Zimmer. Man lasse durch eine kleine Öffnung bei D, (Fig. 129.) in einem Fensterladen einen dünnen Kegel DEH von Sonnenstrahlen auf die Fläche BA des Prisma fallen, so wird dieses Licht im Prisma zweimal aufwärts gebrochen, und breitet sich hinter demselben desto mehr aus, je weiter es fortgeht. Wird das gebrochene Licht dann von einer recht ebenen und weißen gegenüberstehenden Wand PQ aufgefangen, so zeigt sich an der Stelle VR, wo das gebrochne Licht auffällt, die schönste Farbenerscheinung, die man sehen kann. Die Erscheinung ist ein längliches Bild, dessen Umriß Fig. 130. zwischen V und R ungefähr so abgebildet ist, wie es sich an der Wand zeigt. Es ist nirgend scharf begränzt, doch sind die beiden Seitenlinien AB und CD ohne Zweideutigkeit gerade; oben und unten aber kann man, so undeutlich auch hier die Gränzen besonders bei V sind, doch eine halbkreisförmige Begränzung nicht verkennen. Das ganze Bild, wenn es in einer Entfernung von 10 bis 14 Fuß

aufgefangen wird, ist ungefähr fünfmal länger, als breit, und zeigt in jedem Punkte seiner Höhe eine andere sehr lebhafte Farbe, und es folgen die Hauptfarben in der Ordnung auf einander, wie es die beigeschriebenen Worte in der Figur andeuten; auch nimmt jede Farbe ungefähr verhältnißmäßig den in der Figur durch Linien angedeuteten Raum ein. Indessen ist die Bestimmung des Raumes jeder Farbe sehr unsicher, weil sie nur durch unmerkliche Abstufungen in einander übergehen, so daß eigentlich von V bis R eine unendliche Stufenfolge von Farben liegt, aus der sich nur die angedeuteten sieben am deutlichsten herausheben. Man muß aber das Bild in einer beträchtlichen Entfernung auffangen: denn dicht hinter dem Prisma ist das Bild in der Mitte weiß, und nur oben und unten bunt gefärbt, je weiter aber das Licht fortgeht, desto deutlicher sondern sich die Farben ab, doch verändern sich die Verhältnisse der Räume, welche die Farben einnehmen, mit der Entfernung vom Prisma. Blau und Gelb nehmen ab, Violet, Grün und Roth nehmen mit der Entfernung zu. Newtons Bestimmung dieser Räume gilt nur für Prismen von gemeinem Spiegelglase und für Entfernungen von 10 bis 14 Fuß. Bei Prismen aus andern Glasarten fallen die Räume anders aus. Endlich bemerken wir noch, daß das Roth an dem einen Ende des Bildes, nach einer sehr richtigen Bemerkung des Hrn. v. Göthe, kein reines, sondern ein schon ziemlich stark ins Gelbe gezogenes Roth ist, welches sich dem Scharlach nähert. Das reine Roth, wenn es tief ist, heißt Purpur, wenn es hoch ist, reines Rosenroth. Beide kommen im prismatischen Bilde nicht vor.

Die hier beschriebenen Erscheinungen nennt Herr v. Göthe objectiv, welchen Ausdruck wir der Kürze wegen beibehalten wollen.

Anm. Man sollte eigentlich nicht sieben, sondern nur sechs Hauptfarben im prismatischen Bilde annehmen: denn Dunkel- und Hellblau sind offenbar nur Stufen derselben Farben. Daß Newton sieben Farben setzte, geschah im Grunde nur zu Gunsten einer kleinen poetischen Schwärmerei, indem er eine Übereinstimmung der prismatischen Farben mit den sieben Tönen der Octave zu erkünsteln suchte.

§. 4. Um die Entstehung dieses Bildes deutlich einzusehen, muß man zuerst die Brechung eines einzelnen Lichtstrahls im Prisma nach dem Grundgesetze der Dioptrik genauer untersuchen.

Es sei wieder BAC Fig. 128. der brechende Winkel eines senkrecht durchschnittenen Prisma. Auf die Vorderfläche AB falle der Strahl DE. Errichtet man in E das Einfallsloth HI, so ist aus XLVII. 3. klar, daß der Strahl im Glase aufwärts gebrochen werde. Es sei also EF der gebrochene Strahl. In F, wo er die Hinterfläche trifft, errichte man das Loth LK, so sieht man eben so leicht, daß er bei dem Ausgange aus dem Glase nochmals aufwärts gebrochen werde; daher sei FG der ausfahrende Strahl. Verlängert man den einfallenden Strahl DE beliebig bis N, und den ausfahrenden rückwärts, bis er DN in M schneidet, so ist der spitzige Winkel GMN derjenige, um welchen der Strahl DE durch die doppelte Brechung aus seiner ursprünglichen Richtung aufwärts gelenkt wird. Es läßt sich aber durch geometrische Schlüsse zeigen, daß dieser Winkel, der Strahl DE falle auf, wie er wolle, ein fast unveränderliches Verhältniß gegen den brechenden

Winkel BAC habe. Ist nämlich das Brechungsverhältniß aus Luft in Glas n : 1, so ist fast unveränderlich

$$GMN = (n - 1)\ BAC.$$

Da nun das Brechungsverhältniß für gemeines Glas ungefähr 3 : 2 oder $\frac{3}{2}$: 1 ist (XLVII. 6. Nr. 6.), so ist $n = \frac{3}{2}$ also $n - 1 = \frac{1}{2}$ daher $GMN = \frac{1}{2}\ BAC$; d. h. der Strahl DE wird ungefähr um die Hälfte des brechenden Winkels aus seiner ersten Richtung abgelenkt, und zwar gegen die Seite, gegen welche sich der brechende Winkel öffnet.

Beweis. Die Formel $GMN = (n - 1)\ BAC$ würde streng richtig sein, wenn sich die Winkel selbst (nicht ihre Sinus) wie n : 1 verhielten. Unter dieser Voraussetzung wäre nämlich DEH oder

$$LEM : LEF = n : 1;$$

also $MEF : LEF = n - 1 : 1.$

Eben so auf der andern Seite GFK oder

$$LFM : LFE = n : 1;$$

also $MFE : LFE = n - 1 : 1.$

Aus der zweiten und vierten Proportion folgt

$$MEF + MFE : LEF + LFE = n - 1 : 1;$$

oder, da $MEF + MFE = GMN$,

und $LEF + LFE = ILF$,

$$GMN : ILF = n - 1 : 1.$$

Es ist aber ILF dem brechenden Winkel BAC gleich, denn die vier Winkel des Vierecks AELF betragen vier rechte Winkel. Da nun LEA und LFA selbst rechte Winkel sind, so ist $ELF + BAC =$ zwei rechten Winkeln: eben so groß ist aber auch $ELF + ILF$;

folglich $ILF = BAC$, und

$$GMN : BAC = n - 1 : 1;$$

also $GMN = (n - 1)\ BAC.$

Anm. Wir bemerken hier noch, daß das Prisma das bequemste Mittel an die Hand giebt, das Brechungsverhältniß n : 1 genau zu finden. Denn aus der Formel

$GMN = (n - 1)\ BAC$ folgt

$$n = \frac{GMN}{BAC} + 1.$$

Es kommt also bloß darauf an, die beiden Winkel GMN und BAC zu messen, welches keine Schwierigkeit hat. Sollte indessen dieses Verhältniß mit äußerster Genauigkeit gefunden werden, so müßte doch eine strengere Formel für n gebraucht werden, worüber größere Werke nachzusehen sind; z. B. Gehler und Fischer Art. Prisma, desgleichen Klügels analyt. Dioptrik.

§. 5. Die einfache und unzweideutige mathematische Erörterung von der Brechung eines einzigen Lichtstrahles im Prisma ist völlig hinreichend, die im 2ten und 3ten §. erwähnten Erscheinungen vollständig zu zergliedern, und auf lauter deutliche Begriffe zurückzuführen. Um aber ordentlich und erschöpfend dabei zu verfahren, müssen wir sowohl die objectiven als subjectiven Erscheinungen einzeln erörtern; und bei beiden wieder die Betrachtung der Farben und der äußeren Form der Erscheinung von einander absondern. Wir machen den Anfang mit den §. 3. beschriebenen Erscheinungen, welche wir mit Herrn von Göthe objective Erscheinungen genannt haben.

§. 6. Nimmt man das Prisma BAC Fig. 129. weg, und läßt das Licht, welches durch die kleine Öffnung D fällt, gerade aus auf eine gegenüberliegende Wand PQ fallen, so zeigt sich bei G nichts, als ein rundes und weißes undeutliches Sonnenbild (XLIV. 13.) Wäre nun alles Licht in gleichem Grade brechbar, so würde die ganze Wirkung des Prisma darin bestehen, daß dieses Bild mit unveränderter Farbe, und kaum merklich veränderter Gestalt und Größe, oben in der Gegend VR erscheinen würde. Die langgedehnte Gestalt des Bildes VR beweiset also unwidersprechlich,

daß das gebrochene Licht FVR ungleiche Brechbarkeit habe, indem der bei V auffallende Theil weit stärker als der bei R auffallende aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt ist. Da aber dieses Bild in jedem Punkte eine andere Farbe zeigt, so folgt, daß das weiße Sonnenlicht durch die Brechung in Strahlen von ungleicher Farbe zersetzt werde, und daß das Licht von jeder Farbe, so wie sie sich in irgend einem Punkte des prismatischen Bildes zeigt, sein eigenes Brechungsverhältniß habe. Newton fand bei der Glasart, woraus seine Prismen bestanden, das Brechungsverhältniß

des violeten Lichtes	1,56 : 1,
des mittelsten grünen Lichtes	1,55 : 1,
des äußersten rothen Lichtes	1,54 : 1.

Anm. Unter Strahlen von mittlerer Brechbarkeit sind genau genommen die zu verstehen, welche in der Mitte des Farbenbildes liegen, also grüne. Allein man pflegt noch gewöhnlicher darunter die tiefer liegenden gelben zu verstehen, weil das Licht auf der Seite gegen V weit schwächer als auf der Seite R ist. Die gelben Strahlen sind daher, zwar nicht in Ansehung der Lage, aber wohl in Ansehung der Lichtstärke oder Erleuchtungskraft die mittlern. Für diese fand Newton das Verhältniß 17 : 11 oder 1,5454... : 1, welches man als das mittlere Brechungs-Verhältniß des Spiegelglases anzusehen pflegt bei Untersuchungen, wo man auf die Farbenzerstreuung keine Rücksicht nimmt.

Herr Biot bemerkt hiebei, daß man allerdings berechtigt sei, das Brechungs-Verhältniß der gelben Strahlen als das mittlere zu betrachten. Denn wenn man das Brechungs-Verhältniß vermittelst eines Prisma untersuche, das einen kleinen Brechungs-Winkel hat, also eine nur sehr geringe Farbenzerstreuung macht, so finde man allezeit genau dieses Verhältniß.

§. 7. Wäre alles durch das Prisma gehende Licht violet, und von gleicher Brechbarkeit, so würde man bloß bei V ein rundes, violetes Sonnenbild sehen; wäre alles durchgehende Licht roth, so würde blos bei R ein rothes Sonnenbild erscheinen; derselbe Schluß gilt von jeder andern Farbe. Hieraus ist klar, daß das verlängerte Bild VR Fig. 130. eigentlich aus einer unendlichen Menge übereinandergeschobener runder Sonnenbilder besteht, von denen jedes folgende nur ein klein wenig tiefer liegt als das vorhergehende. In der danebenstehenden 131sten Figur sind die Sonnenbilder, welche zu den sieben Hauptfarben gehören, zu mehrerer Versinnlichung dieser Vorstellung abgebildet. Man sieht aber leicht, daß das Farbenbild Fig. 130. nicht blos aus sieben solchen Kreisen wie Fig. 131. sondern aus unzählig vielen bestehen müsse, weil sonst die Seitenlinien AB und CD Fig. 130. nicht gerade sein könnten. Rückt man diese runden Farbenbilder in Gedanken so weit zusammen, bis der oberste Kreis noch einen Theil des untersten deckt, so vermischen sich in der Mitte alle prismatischen Farben und erscheinen als weißes Licht, das nur oben eine violete, und unten eine gelbrothe Begränzung hat. Dieses ist der Fall, wenn man das durch das Prisma gehende Licht dicht hinter demselben auffängt. Rückt man aber die auffangende Ebene allmählig weiter ab, so rücken die Kreise wegen der ungleichen Brechbarkeit allmählig weiter auseinander. Daher muß der Raum in der Mitte, wo sich alle Farben decken, immer kleiner werden; an den Rändern oben und unten aber entwickeln sich die Farben immer vollständiger, bis in einer gewissen Entfer-

nung das Weiße gänzlich verschwindet, und das ganze Bild gefärbt erscheint.

§. 8. Verbindet man nun den Inhalt der beiden vorhergehenden §§. mit einander, so ist klar, daß es nicht eine Hypothese, sondern eine unwidersprechliche Thatsache sei:

daß jedem Brechungs-Verhältniß im Prisma eine eigenthümliche bestimmte Farbe angehöre; daß die Vermischung aller prismatischen Farben weißes Licht gebe, und daß dieses also aus farbigen Lichtern gemischt und zusammengesetzt sei.

Wie viele einfache farbige Lichter es gebe, und welche Farben man als die einfachen Bestandtheile des Lichtes betrachten müsse, wollen wir im Anhange zu diesem Capitel zu erörtern suchen. Hier bemerken wir aber noch, daß man in einem verfinsterten Zimmer zum Überfluß noch mehrere ganz directe Versuche zum Beweise dieser Newtonschen Sätze anstellen könne. Dahin gehört folgendes.

Fängt man das farbige Licht in einiger Entfernung hinter dem Prisma mit einem breiten Sammelglase auf, so findet man hinter demselben an der Stelle, wo alles Licht in einem kleinen Raume zusammengedrängt wird, weißes Licht; hinter dieser Stelle erscheinen die Farben wieder in umgekehrter Ordnung. Wenn man zwei Prismen, deren brechende Winkel gleich sind, nahe hinter einander mit entgegengesetzter Lage des brechenden Winkels aufstellt, so wird jeder Lichtstrahl eben so stark in dem zweiten abwärts; als im ersten aufwärts gebrochen. Daher kommt jeder wieder in die Richtung, die er vor dem ersten Prisma hatte. Es ist also die verschiedene Brechbarkeit wieder aufgehoben, und das ausfahrende Licht ist daher weiß, und bloß an den Rändern ein wenig gefärbt.

Versuche über jede einzelne prismatische Farbe kann man anstellen, wenn man in einiger Entfernung hinter dem Prisma eine schwarze Ebene aufstellt, in welcher sich eine kleine, sehr schmale horizontale Spalte befindet, die nur einen sehr schmalen und einfarbigen Streifen des Farbenbildes durchläßt. Noch besser isolirt man jede Farbe, wenn man hinter der ersten Ebene in einiger Entfernung eine zweite von eben der Einrichtung aufstellt, so daß durch ihre Spalte nur ein noch kleinerer Streifen des Lichtes, welches von der ersten Spalte kommt, durchgeht. Auf diese Art kann man Versuche über das Licht von irgend einer einzelnen Farbe anstellen; man kann es durch ein Glasprisma betrachten; man kann es von Neuem durch ein Prisma gehen lassen, und sein Brechungs-Verhältniß untersuchen; man kann, wenn man auf diese Art zwei oder mehr Farben zugleich isolirt, dieselben wieder vereinigen, entweder durch ein Sammelglas, oder durch einen Metallspiegel, u. dgl. m.

Anm. Wir haben zwar bisher, zur Bequemlichkeit des Vertrages und der Figuren angenommen, daß der Sonnenstrahl unmittelbar in das Zimmer geleitet sei, und das Prisma horizontal liege. Aber bei Ausführung der Versuche ist es jederzeit bequemer, dem Lichte durch einen Metallspiegel eine horizontale Richtung zu geben, und das Prisma vertical aufzustellen. Wie hienach die Ausdrücke abzuändern sind, ist leicht zu erachten.

§. 9. Wir wollen hier noch einen Begriff erörtern, der Newton und seinen Nachfolgern nicht fremd war, der aber erst durch die Lehre von drei Grundfarben (im Anhange dieses Capitels) seine vollendete Aufklärung erhalten wird. Dies ist der Begriff von dem Gegensatze der Farben.

Betrachtet man nämlich eine der sieben Hauptfarben, oder eine Mischung aus zweien, oder dreien ꝛc., so ist eine Mischung der sämmtlichen übrigen Farben, die entgegengesetzte oder die ergänzende (complementäre) von jener.

Betrachtet man z. B. das prismatische Grün, so ist die Mischung der übrigen sechs die ergänzende Farbe. Betrachtet man eine Mischung von Blau und Roth, so ist die Mischung der übrigen fünf die entgegengesetzte Farbe, u. dgl. m. Man sieht leicht ein, daß zwei solche entgegengesetzte Farben nothwendig Weiß geben müßten, vorausgesetzt, daß in ihnen alle prismatischen Farben genau in demselben Verhältnisse als in dem prismatischen Farbenbilde gemischt wären. Nur konnte man vermittelst der Farbentheorie, so weit es Newton geglückt war, sie zu finden, nur annähernd, und nach einer unsicheren Hypothese bestimmen, was für Farben aus der Mischung von zweien oder dreien entstehen würden. Dagegen werden wir im Anhange dieses Capitels sehn, wie bestimmt und der Erfahrung gemäß sich jede die Mischung der Grundfarben betreffende Frage aus der Lehre von drei Grundfarben beantworten läßt, welche Herr von Göthe in seinem Werke: Zur Farbenlehre sehr schön entwickelt hat.

§. 10. Wir kommen nun auf die im 2ten §. erwähnten subjectiven Erscheinungen.

Es sei (Fig. 132. a.) AB der Durchschnitt einer ebenen schwarzen Fläche, die durch das Prisma DCE betrachtet wird, und bei F befinde sich ein kleiner weißer Kreis, den wir zuerst als einen bloßen Punkt betrachten wollen. Unter den weißen Lichtstrahlen, die er auf das Prisma wirft, betrachten wir zuerst den Strahl FG. Dieser wird nach §. 4. bei G und H zweimal aufwärts gebrochen. Aber wegen der kurz vorher erwiesenen ungleichen Brechbarkeit seiner Bestandtheile bleibt er weder im Prisma selbst, noch außer demselben, eine einfache gerade Linie, sondern breitet sich innerhalb eines kleinen Winkels fächerförmig aus. Der am stärksten gebrochene Theil desselben ist durch die Linie GHI, der am schwächsten gebrochene durch die Linie GKL angedeutet. Empfinge nun ein Auge in I bloß

den Strahl HI, so würde es den Punkt F bei M, aber bloß in violeter Farbe sehen, weil dieser Farbe die stärkste Brechung angehört. Befände sich das Auge bei L und empfinge bloß den Strahl KL, so würde es statt des Punktes F einen rothen Punkt in N sehen. Empfinge das Auge nur einen Strahl zwischen I und L, so würde es den Punkt F zwischen M und N in einer der prismatischen Mittelfarben sehen. Empfängt aber das Auge auf einmal alle zwischen I und L liegende Strahlen, welches allerdings der Fall sein wird, wenn das Auge sich nahe bei dem Prisma befindet, wo die Ausbreitung des Strahles noch sehr gering ist, so wird es statt des Punktes F eine kleine Linie MN sehen, die oben roth, unten violet erscheinen, und zwischen beiden Enden die prismatischen Mittelfarben zeigen würde.

Nun denke man sich statt des Punktes F, einen kleinen weißen Kreis auf schwarzem Grunde, so wird sich leicht zeigen lassen, wie er einem Auge, welches die gebrochenen Strahlen bei IL empfinge, erscheinen müßte. Wäre der Kreis nicht weiß, sondern strahlte bloß violetes Licht von der stärksten Brechbarkeit, so würde das Auge bei M einen violeten Kreis sehen. Käme aus F bloß Licht von der schwächsten Brechbarkeit, so würde es bei N einen rothen Kreis sehen. Gäbe F bloß Licht von einer mittlern Brechbarkeit, so würde das Auge zwischen M und N bloß einen Kreis von einer mittleren Farbe sehen. Da aber der Kreis F weißes Licht, also Licht von jedem Grade der Brechbarkeit aufs Prisma sendet, so sieht das Auge diese ganze Reihe von farbigen Kreisen auf einmal, d. h. es wird eine ganz ähnliche Erscheinung sehen, als die §. 9. erklärten, und in

den Figuren 130. und 131. aufgestellten objectiven Erscheinungen, nur mit dem einzigen Unterschiede, daß jetzt die verschiedenen Farben in umgekehrter Ordnung, Roth oben und Violet unten, liegen werden.

Anm. 1. Man kann diese Erscheinung bei Ermangelung des Sonnenscheins brauchen, um den Zuhörern wenigstens eine anschauliche Vorstellung von dem objectiven prismatischen Farbenbilde (§. 3.) zu geben.

2. Wir haben im §. und in Fig. 132. a, angenommen, daß das Auge so nahe hinter dem Prisma stehe, daß es alle aus dem Strahle FG entspringende Farben aufnehmen kann. Dieses ist zwar nicht mehr der Fall, wenn das Auge so entfernt ist, daß die Pupille nicht alle zwischen I und L liegenden Farben fassen kann; und dies wird immer der Fall sein; wenn F nicht ein bloßer Punkt, sondern ein kleiner Kreis ist. Indessen ändert dieses in der Erscheinung nichts, wie wir hier noch zeigen wollen.

In Fig. 132. b, sei AB wieder eine schwarze Fläche, und auf dieser bei F ein weißer Punkt. Auf das Prisma DCE falle zuerst der Strahl FG, und der am schwächsten gebrochene, also rothe Theil desselben, werde nach H und I gebrochen. Ein anderer Strahl FK falle unter G aufs Prisma, und sein brechbarster also violeter Theil werde zuerst nach L, und dann wieder aufwärts gebrochen, so sieht man leicht ein, daß, wenn G nnd K nahe genug beisammen sind, der bei L ausfahrende Strahl den Strahl HI irgendwo z. B. in I treffen wird. Dieser Punkt wird desto entfernter von dem Prisma sein, je weiter K von G entfernt ist. Stände nun ein Auge in I, so ist klar, daß es in N wie vorher ein rothes, in M ein violetes Bild des Punktes F, und zwischen N und M Bilder von den übrigen prismatischen Mittelfarben, also völlig wie vorher statt des Punktes F eine kleine Linie NM mit allen prismatischen Farben sehen wird. Ist nun F ein kleiner weißer Kreis, so wird man zwischen N und M ein kleines aber vollständiges Farbenbild, wie vorher, sehen.

§. 11. Man nehme jetzt an, daß durch den Punkt F auf dem schwarzen Grunde eine weiße Linie in wage-

rechter Lage gezogen sei, so wird jeder Punkt derselben, wie der Punkt F, als eine kleine bunte Linie, wie NM, erscheinen. Da aber die Lichtstrahlen, welche aus den von F rechts und links liegenden Theilen der Linie kommen, in schiefer Richtung durchs Prisma gehen müssen, wenn sie das Auge bei I (Fig. 132. b.) erreichen sollen, so begreift man auch ohne strengere Untersuchung, daß jeder solcher Strahl einen brechenden Winkel zu durchlaufen habe, der größer ist als DCE. Hieraus folgt aber, daß das Licht, welches von seitwärts liegenden Punkten kommt, stärker gebrochen werde, als dasjenige, welches von dem Punkte F kommt, der dem Auge gerade gegenüber liegt. Die Bilder von seitwärts liegenden Punkten werden daher tiefer liegen als NM, und diese Vertiefung muß desto stärker sein, je entfernter der abgebildete Punkt von F liegt. Das Bild der durch F gezogenen Linie kann also weder gerade noch eine bloße Linie sein, sondern sie erscheint gleichsam als ein flacher Regenbogen, mit allen prismatischen Farben; nur ist die rothe Farbe oben und die violete unten.

§. 12. Man nehme jetzt an, die Ebene AB sei nur über F schwarz, unter F aber durchaus weiß, so ist klar, daß jeder unter F befindliche Punkt, wenn er allein auf schwarzem Grunde wäre, dem Auge als eine bunte Linie wie NM erscheinen würde, und zwar eben so tief unter NM, als der Punkt unter F läge. So besteht, was das Auge abwärts von N erblickt, aus einer stätigen Folge solcher Farben-Linien, die sich decken. Nur der höhste Theil der Linie bei N wird gar nicht, oder von ähnlichen Farben gedeckt, und erscheint daher violet und blau. In allen Punkten unter M aber liegen alle prismatischen Farben auf einander, so daß die

Fläche unter M in ihrer natürlichen Beschaffenheit also weiß erscheint, nur undeutlich, weil sich jeder Punkt als eine kleine Linie abbildet.

Wäre umgekehrt der über F liegende Theil weiß, und der darunter liegende schwarz, so würde man bloß von M bis N rothes und gelbes Licht sehen, über N aber müßte alles weiß erscheinen.

§. 13. Was hier über weißes Licht gesagt worden, läßt sich auch auf farbiges Licht anwenden. Denn wir werden in der Folge sehen, daß vielleicht kein einziger gefärbter Körper ein einfaches farbiges Licht von sich strahle, sondern daß fast alles in der Wirklichkeit vorkommende Farbenlicht aus eben den Grundfarben als das weiße Licht, nur in einem andern Verhältniß, gemischt sei. Denkt man sich daher den Punkt F, oder einen kleinen Kreis um F, oder eine wagerechte Linie durch F, oder endlich die ganze Ebene über oder unter F auf eine beliebige Art gefärbt, so geschieht doch durch die verschiedene Brechbarkeit eine Farbenzersetzung. Auch werden sich im Ganzen dieselben prismatischen Farben zeigen, nur in veränderten Nüancen, und in einem andern Verhältniß der Räume, die sie einnehmen. Hieraus ist aber sichtbar, daß überall farbige Ränder erscheinen müssen, selbst da, wo zwei verschiedene Farben, ja selbst zwei Abstufungen derselben Farbe an einander stoßen. Dagegen müssen solche Flächen, die gleichförmig gefärbt sind, innerhalb der farbigen Ränder in unveränderter Farbe erscheinen.

Alles dieses stimmt nun vollkommen mit der Erfahrung überein, und die subjectiven Erscheinungen streiten daher nicht nur gegen Newtons Farbentheorie nicht, sondern bestätigen dieselbe unwidersprechlich.

Anderweitige von Newton untersuchte Zerlegungen des weißen Lichtes in farbiges.

§. 14. Farben dünner Lamellen (Blättchen). Wenn weißes Tageslicht auf sehr dünne Schichten einer durchsichtigen Materie fällt, so zeigen sich sowohl im zurückgeworfenen als auch im durchgehenden Lichte Farben. Die schönen Farben der Seifenblasen sind selbst unsern Kindern bekannt. Newton hat eine große Menge sinnreicher Versuche hierüber angestellt, die stets ein Muster einer sorgfältigen Experimental-Untersuchung bleiben werden. Auch entdeckte er ein merkwürdiges Gesetz dieser Farben, ob es ihm gleich nicht gelungen ist, ihre Entstehung vollständig zu erklären.

Diese Farben entstehen in allen durchsichtigen oder durchscheinenden Mitteln, sie mögen fest, oder tropfbar, oder luftförmig sein, wenn sie nur dem Lichte in hinlänglich dünnen Lamellen dargeboten werden. Man lege zwei Stücke Spiegelglas auf einander, und drücke sie an einer Stelle mit zwei Fingern ein wenig zusammen, so entsteht an der Stelle, wo sich die Platten am genausten berühren, im reflectirten Lichte betrachtet, ein dunklerer Fleck, und um diesen breiten sich unregelmäßig Farben aus, welche sich nach Verschiedenheit des Winkels, unter welchem man sie ansieht, verändern. Ihre Entstehung verdanken sie der dünnen zwischen beiden Platten enthaltenen Luftschicht. Um diese Farben genauer zu untersuchen, legte Newton ein sehr flaches Objektivglas (von mehr als 50 Fuß Brennweite) auf ein sehr ebenes Spiegelglas. Da, wo sich beide Flächen berührten, zeigte sich ein dunkler Fleck, und um diesen farbige kreisförmige Ringe, die sich mehrmals wiederholen, obgleich nicht genau in denselben Farben-Abstufungen. In diesem ganzen Farbenbilde wechseln dunklere und hellere Ringe ab, die nicht genau immer auf dieselben Farben treffen, deren Zwischenräume aber, vom Mittelpunkte aus, auf eine regelmäßige Art immer kleiner werden. Newton bestimmte mit der äußersten Sorgfalt die Dicke der Luftschicht an

jeder Stelle eines solchen Ringes, und fand das merkwürdige Gesetz, daß diese Dicken wie die natürlichen Zahlen, 0, 1, 2, 3, 4, ꝛc. wachsen; und zwar fallen die dunkleren Ringe auf die Entfernungen 0, 2, 4, 6, ꝛc. die helleren, auf 1, 3, 5, ꝛc. Auch zeigen sich farbige, desgleichen hellere und dunklere Ringe im durchgehenden Lichte, nur sind sie schwächer, und gegen einen hellen Hintergrund nicht leicht zu bemerken. Newton fand, daß diese Erscheinung in einem Gegensatze gegen die vorige stand. Wo oben dunkle Ringe waren, fanden sich unten helle, und umgekehrt, und die Farben, die man unten sah, waren die entgegengesetzten der oberen (§. 9.).

Auch versuchte Newton, was im Innern hiebei mit dem Lichte vorgeht, durch eine überaus sinnreiche Hypothese zu erklären, indem er den Lichtstrahlen eine Eigenschaft beilegte, die er Anwandlungen des leichteren Zurückgehens, oder Durchgehens (Vices facilioris transmissionis et refractionis; sits of easy transmission and reflexion) nannte. Vermöge dieser Eigenschaft sollen gewisse Stücke eines Lichtstrahles geneigter sein, zurück geworfen als gebrochen zu werden, und umgekehrt; so daß man sich die ganze Länge eines Lichtstrahles in gleiche Theile getheilt vorstellen muß, welche abwechselnd die angedeutete Beschaffenheit haben. Man hat diese Anwandlungen größtentheils bloß als eine sinnreiche Künstelei betrachtet. Neuere Beobachtungen, die wir kürzlich im 51sten Capitel erwähnen werden, haben die Aufmerksamkeit der Naturforscher von Neuem auf dieselben gelenkt.

Die Art, wie Newton durch diese Hypothese die Entstehung der Farben auf bestimmte Gesetze zurückführte, ist zu weitläuftig und verwickelt, um in ein Lehrbuch, wie das gegenwärtige zu gehören; doch durfte eine kurze Entwickelung des Sinnes dieser Hypothese nicht fehlen.

§. 15. Farben durch Beugung des Lichtes.

Schon vor Newton hatte Grimaldi in Paris eine Menge merkwürdiger Beobachtungen über die Beugung des Lichtes gemacht, von denen man sehr vollständige Nachrichten in Priestley's Geschichte der Optik findet.

Newton wiederholte nicht nur diese Versuche, sondern vermehrte sie mit vielen neuen, und der ganze dritte Theil seiner Optik handelt von der Beugung des Lichtes. Indessen ist es ihm noch weniger, als bei den Farben dünner Lamellen, gelungen, die Entstehung dieser Farben auf deutliche Gesetze zurück zu führen. Neuere Beobachtungen haben die Aufmerksamkeit der Naturforscher ebenfalls auf diese Art der Lichterscheinungen gelenkt. Wir versparen daher einige genauere Erörterungen auf das 51ste Capitel.

Wirkung der Farbenzerstreuung bei optischen Gläsern.

§. 16. Es sei AA Fig. 133. ein Sammelglas (z. B. das Objectivglas eines Fernrohres). In einer sehr großen Entfernung vor demselben stehe ein Gegenstand CD, welcher weißes Lichts auf das Glas wirft, so entsteht nach XLVII. 13. eine verkehrte Abbildung desselben KH im hinteren Brennpunkte G des Glases. Nun ist aber, auch ohne Rechnung leicht einzusehen, daß die Brennweite eines Glases von dem Brechungsverhältnisse abhängig ist, und daß dieselbe desto kürzer sein wird, je stärker die Brechungskraft des Glases ist. Da nun die violeten Strahlen, wie wir gesehen haben, stärker gebrochen werden, als alle übrigen, so ist klar, daß die verschiedenen prismatischen Farben, woraus das weiße Licht besteht, nicht einen und denselben Brennpunkt haben können. Ist nun V der Brennpunkt der violeten, G der Brennpunkt der gelben, und R der Brennpunkt der rothen Strahlen, so ist klar, daß das weiße Licht des Gegenstandes CD in V eine violete, in G eine gelbe, in R eine rothe Abbildung des

Gegenstandes, und zwischen R und V Abbildungen von jeder mittlern prismatischen Farbe machen werde; sodaß also zwischen FG nnd LM eine unzählige Menge von farbigen Bildern des Gegenstandes hintereinander stehen werden. Betrachtet nun ein hinter LM stehendes Auge diese Bilder, so ist klar, daß es in keinem Punkte eine vollkommen scharfe Abbildung des Gegenstandes sehen könne, daß die Undeutlichkeit von der Achse aus gegen den Rand hin zunehmen, und daß am Rande selbst die größeren Bilder über die kleinern und besonders das rothe Bild über die übrigen hervorragen, also der Rand des Gegenstandes mit bunten Farben umgeben erscheinen werde.

Man sieht leicht, wie sich ähnliche Betrachtungen bei jedem andern optischen Bilde, welches durch ein Sammelglas oder Zerstreuungsglas hervorgebracht wird, anstellen lassen: denn von jedem solchen Glase gilt der Satz, daß jede Farbe ihren eigenen Brennpunkt habe. Und wenn man sich die Mühe giebt einige andere Fälle auf ähnliche Art nach Newtons Farbenlehre zu betrachten, so wird man finden, daß das Bild eines weißen Gegenstandes auf schwarzem Grunde, bald mit einem rothen, bald mit einem blauen Saume erscheinen müsse, je nachdem entweder die Bilder, welche auf der rothen, oder die, welche auf der blauen Seite liegen, über die mittleren hervorragen. Ist aber der Gegenstand nicht weiß auf schwarzem Grunde, sondern gefärbt auf einem anders gefärbten Grunde, so können die farbigen Säume schwächer werder, aber nie werden sie gänzlich fehlen. Besonders auffallend können sie werden, wenn das Licht durch mehrere Gläser hintereinander geht. Verbindet man z. B.

mit einem Objectivglase, um eine starke Vergrößerung zu erhalten, Oculare von zu kleiner Brennweite, so können die farbigen Bilder so weit auseinander treten, und so ungleich an Größe werden, daß alle Deutlichkeit verloren geht. Daher kann bei jedem einfachen Objectivglase die Vergrößerung immer nur bis zu einem gewissen Punkte getrieben werden. Das Nähere hierüber muß der höheren Rechnung vorbehalten bleiben.

§. 17. Wir kennen also nunmehr zwei Quellen von Undeutlichkeit bei allen optischen Werkzeugen.

a. Die erste liegt darin, daß keine Krümmung möglich ist, bei welcher in jedem Falle alle Strahlen, die aus einem Punkte kommen, wieder scharf in einen Punkt vereinigt würden; und daß besonders die sphärische Krümmung, die man den Flächen der Gläser giebt, keine vollkommene Vereinigung solcher Strahlen bewirken kann. Diese Unvollkommenheit haben die Gläser mit den Spiegeln gemein. Man nennt sie die Abweichung wegen der Gestalt.

b. Die zweite Quelle von Undeutlichkeit liegt in der eben erklärten Wirkung der Farbenzerstreuung, indem mehrere hinter einander liegende farbige Bilder eines Gegenstandes von verschiedener Größe entstehen, sobald das Licht des Gegenstandes von zusammengesetzter Art ist. Diese Quelle von Undeutlichkeit ist ohne Vergleich größer als die erste; sie findet aber nur bei Gläsern nicht bei Metall-Spiegeln statt. Man nennt sie die Abweichung wegen der Farbenzerstreuung.

§. 18. Die Erfahrung lehrt indessen, daß das Auge stärkere Abweichungen beider Arten ohne merklichen Nachtheil der Deutlichkeit verträgt, als man aus

theoretischen Gründen vermuthen sollte. Indessen werden doch in der Zusammensetzung der optischen Werkzeuge durch die Abweichungen gewisse Verhältnisse in den Brennweiten und Öffnungen der Gläser bestimmt, die man ohne sichtbaren Schaden der Deutlichkeit nicht überschreiten darf. Hiedurch wird ein zusammengesetztes optisches Werkzeug ein sehr künstliches Instrument, dessen vollständige Berechnung sehr tiefe Einsichten in die Theorie erfodert.

§. 19. Die schöne Erscheinung des Regenbogens läßt sich in der Hauptsache sehr vollständig, aus den Gesetzen der Brechung und Farbenzerstreuung erklären. Aber die ganze Theorie derselben ist mathematisch, und gehört nicht sowohl in die mechanische Naturlehre, als in denjenigen Theil der physicalischen Erdbeschreibung, der von den Lichterscheinungen im Luftkreise handelt. Eben dahin gehören auch die Erörterungen über die farbigen Ringe, oder sogenannten Höfe, welche sich oft um die Sonne oder den Mond zeigen, desgleichen die Erscheinungen der Nebensonnen und Nebenmonde, des Morgen- und Abendroths; die blaue Farbe der Luft, u. dgl. m.

Über die Theorie des Regenbogens sehe man den Artikel Regenbogen, in den physic. Wörterbüchern. Vollständiger findet man sie in Newtons Optik, in Priestley's Gesch. d. Optik, und in jedem guten Handbuche. Nur ein Paar Nebenumstände sind noch nicht befriedigend erklärt. Dahin gehört die Entstehung des merklich dunkleren Raumes zwischen beiden Regenbogen. Ferner wiederholen sich bisweilen an dem untern Saume des Hauptbogens die Farben Roth, Grün und Violet, in einem auch wohl mehreren schwachen Farbensäumen. Versuche zur Erklärung der letzten Erscheinung findet man von Brandes im Gilbert, B. 19. S. 464; von Venturi, B. 52. S. 385. f.

Über die Höfe, Nebensonnen ꝛc. hat zuerst Huygens eine sehr scharfsinnige Hypothese erdacht, die aber zu gekünstelt ist, als daß man sie für wahrscheinlich halten könnte. M. s. d. physic. W. B. Art. Höfe. Neuerlich hat ein englischer Naturforscher Jordan die Entstehung der kleinern Höfe, welche die Sonne oder den Mond unmittelbar mit veränderlichem Durchmesser umgeben, aus der Beugung des Lichtes zwischen den Dunstbläschen oder Dunstkügelchen auf eine Art zu erklären gesucht, die alle Aufmerksamkeit verdient. M. s. Gilbert B. 18. S. 1. ff.

Allgemeine Bemerkungen über die Newtonische Farbentheorie.

§. 20. Das bisher vorgetragene ist die wesentliche Grundlage von Newton's Farbentheorie, und wir haben gezeigt, daß sie aus lauter Thatsachen, oder nothwendigen Folgerungen aus denselben bestehe. Wider jene oder diese zu streiten, beurkundet also in allen Fällen Mangel an gründlicher Sachkenntniß. Für untrüglich hat nie ein vernünftiger Physiker diesen ausgezeichneten Geist gehalten. Man hat schon im vorigen Jahrhundert ohne Bitterkeit mehrere Irrthümer des großen Mannes aufgedeckt, und wir werden in der Folge Veranlassung finden, noch einige zu bemerken, so wie dieses schon gelegentlich in frühern Abschnitten geschehen ist *). Newton's tiefe Untersuchungen sind von einer Menge gründlicher Köpfe nach ihm geprüft, wiederholt und erweitert, und, wo es nöthig war, berichtigt worden. Sie sind daher jetzt nicht mehr das Besitzthum eines einzelnen Menschen oder einer Parthei, sondern sie ge-

*) Dahin gehören z. B. die oben im 4ten und 5ten Abschnitt bei der Grundlehre der Hydraulik und Pneumatik bemerkten Newtonischen Gesetze des Widerstandes flüssiger Körper.

hören der Wissenschaft und der Menschheit an. Man sollte daher in der Naturlehre eben so wenig von Newtonianern reden, als man in der Geometrie von Euklidisten spricht. Es verräth keinen reinen und unbefangenen Wahrheitssinn, wenn man in wissenschaftliche Untersuchungen Persönlichkeit und Partheisucht einmischt, oder wenn man gar, statt zu widerlegen, schimpft.

Daß der, welcher nicht bloß Optik, sondern Newtons optische Arbeiten kennen lernen will, sie nicht in abgeleiteten Quellen studiren müsse, versteht sich von selbst. Aber ich muß noch hinzufügen, daß dazu nicht einmal das von Newton, unter dem Titel Optik, herausgegebene Werk hinreicht. Denn laut seiner Vorrede, gab er es nur auf dringendes Verlangen vieler Freunde, und fast wider Willen heraus, bloß weil ein sehr großer Theil des Publikums von seinen Entdeckungen unterrichtet zu sein wünschte. Daher mußte er alle tiefere Untersuchungen vermeiden, und sich lediglich auf den Experimentalweg einschränken. Selbst die wenigen mathematischen Untersuchungen, welche in der ersten englischen Ausgabe enthalten waren, ließ er in den folgenden Ausgaben weg. Es ist daher nicht zu verwundern, daß bei der übergroßen Menge von Versuchen die er erfinden und machen mußte, um seine Entdeckungen faßlich zu machen, sich einige finden, die (wie man schon früher bemerkt hat) zu gegründeten Erinnerungen Anlaß gaben. Wer Newtons Arbeiten gründlich kennen lernen will, muß seine Lectiones opticae, und eine Menge von Briefen studiren, die er mit Freunden und Gegnern über diese Gegenstände gewechselt hat.

Zu den nachtheiligen Folgen eines halben Studiums der Newtonischen Arbeiten gehört besonders auch, daß man

manche Meinungen spätterer Naturforscher ihm zugeschrieben hat. Dahin gehört besonders die Behauptung, daß es sieben einfache Grundfarben gebe. Dieses haben viele spätere Naturforscher behauptet, aber Newton nirgend, sondern nur, daß es in dem prismatischen Bilde sieben Hauptfarben (colores primarii) gebe. Dagegen behauptet er in einem Briefe an einen ungenannten französischen Gelehrten ausdrücklich (doch nur durch Zudringlichkeiten eines Gegners genöthigt), daß man unendlich viele einfache Farben annehmen müsse, weil jede Verschiedenheit im Brechungsverhältniß eine veränderte Farbe zeigt. M. s. Newtoni opuscula, ed. Castilionei. Lausannae et Genevae 1744. Tom. II. p. 371. Prop. I. II. et III.

Auch ist Newton weder Urheber noch Anhänger des Emanations- oder des Vibrations-Systemes (XLIV. 3.), und beide sind viel älter. Die erstere Vorstellungsart ist uralt, und eigentlich diejenige, die sich der Betrachtung am ersten darbietet. Von der andern ist Des Cartes der Urheber, und sie ist nach ihm von Huyghens, L. Euler und andern mit großem Scharfsinn weiter ausgebildet worden. Newton scheint sich meistens in dem Sinn der ersteren auszudrücken, bisweilen nähert sich sein Ausdruck dem Sinne der letzteren. Aber nirgend hat er versucht, die eine oder die andere zu einer Grundlage der ganzen Optik zu machen, und alle Erscheinungen aus derselben erklären zu wollen, Die Anwandlungen des leichteren Zurückgehens oder Durchgehens, die bei §. 14. erwähnt worden, liegen der Vorstellung von Vibrationen so nah, daß dieses seinem scharfsichtigen Auge nicht entgehen konnte. Ohne Zweifel wählte er daher mit Vorbedacht einen unbestimmten Ausdruck, den jeder nach Gefallen seiner besondern Vorstellungsart anpassen konnte. Eine Vorsicht, die eines tiefen Denkers würdig ist. Denn man kann in der That zweifeln, ob eine jener Vorstellungsarten das Räthsel des Lichtes gelöset habe. Das innere Wesen der Naturkräfte kennen wir nicht. Dem menschlichen Geiste ist nur vergönnt, die Gesetze mühsam zu erforschen, nach welchen der unbegreifliche Urheber alles Daseins den Kräften der äußeren und inneren Welt zu wirken geboten hat. Es ist daher gar wohl denkbar, daß

es Kräfte gebe, für deren innere Wirkungsart es gar keine Vorstellungs=Form in unserem Kopfe giebt, und daß zu diesen Kräften das Licht gehöre. Aber wohl können sich Bilder in dem Umfange des Wahrnehmbaren finden, an welche sich die Gesetze anknüpfen lassen. Solche Bilder sind ein vortreffliches Hülfsmittel zur Beförderung der Deutlichkeit. Nur muß man nicht glauben, mit dem Bilde das Wesen der Sache selbst gefunden zu haben. Oft findet sich mehr als ein solches Bild (wie in der Elektricität die Vorstellung von einer oder zwei Materien, und in der Optik Emanation und Vibration); dann muß es frei stehen, im Sinne des einen oder des andern Bildes zu sprechen, ohne zu glauben, daß mit dem Bilde das Wort des Räthsels gefunden sei. Und wenn Newtons Ausdruck mehr emanatorisch als vibratorisch scheint, so hat er dieses mit allen Naturforschern, sogar mit den Vertheidigern der Vibration gemein. Denn jeder sagt, die Lichtstrahlen kommen und gehen, wie man vom Schalle sagt, er kommt und geht. Aber man darf daraus eben so wenig schließen, daß er ein Vertheidiger der Emanation sei, als man einen Sternkundigen, der von der täglichen Bewegung des Himmels redet, beschuldigen darf, daß er dem Ptolemäischen Systeme huldige.

Anhang

zum neunundvierzigsten Capitel.

Über die Grundfarben des Lichtes.

§. 21. Daß das weiße Licht der Sonne durch das Prisma in farbige Bestandtheile zerlegt werde, ist eine unstreitige Thatsache. Daß sich aber unter diesen Farben irgend eine befinde, die man einfache nennen dürfte, ist eine Annahme, von deren Unrichtigkeit man sich leicht durch die einfache Betrachtung hätte überzeugen können, daß es in dem prismatischen Bilde (außer den äußersten Gränzen) nicht einen einzigen Punkt gebe, der nicht durch die Deckung einer unendlichen Menge von runden verschieden gefärbten Sonnenbildern entstehe, daß folglich

alle Farben des prismatischen Bildes zusammengesetzt sind, und daß überhaupt das prismatische Farbenbild gar nicht die Erscheinung ist, aus welcher sich ein sicherer Schluß auf die einfachen Grundfarben des Lichtes machen läßt.

§. 22. Man kann es gegenwärtig als ausgemacht ansehen, daß es nur drei einfache Grundfarben gebe, nämlich Roth, Gelb und Blau. Die Künstler haben dieses von jeher sehr einstimmig behauptet, und zwar aus dem ganz einfachen Grunde, weil sie aus diesen drei Farben alle anderen mischen, und durch Zusatz von Weiß oder Schwarz, auch alle Töne jeder Farbe hervorbringen können. Ein directer wissenschaftlicher Beweis läßt sich schwerlich hierüber geben, da es nicht scheint, als ob das weiße Licht in irgend einer Erscheinung wirklich in diese drei Grundfarben zerlegt würde; aber alle Folgerungen, die man aus der Annahme ziehen kann, scheinen sich so vollkommen in der Erfahrung zu bestätigen, daß daraus ein sehr genügender indirecter Beweis erwächst. Zu dem Ende ist aber nöthig, einige allgemeine Bemerkungen über die Farben voraus zu schicken.

§. 23. Grau ist nichts anders als eine Vermischung von Weiß und Schwarz, und es ist klar, daß man ein schneeweißes Pigment, durch allmählig vermehrte Hinzusetzung von einem schwarzen, durch alle Stufen des Grauen hindurch bis ins völlig Schwarze steigern könne. Daher erscheint von zwei gleich weißen Flächen die eine gegen die andere grau, sobald sie weniger erleuchtet wird. Denn da Schwarz nichts ist als Abwesenheit des Lichtes, so giebt eine Fläche, auf die man eine Mischung von gleichen Theilen Weiß und Schwarz getragen hat, nur die Hälfte des weißen Lichtes zurück, welches sie empfängt, die andere Hälfte wird vom schwarzen Pigment verschluckt. Dieselbe Abstufung des Grau würde erscheinen, wenn man von zwei gleich weißen Flächen, die eine nur mit halb so viel weißem Lichte beleuchtete, als die andere.

Man kann daher sagen, das Grau sei nichts als ein geschwächtes Weiß, es sei nur durch Beimischung von Schwarz, oder durch verminderte Beleuchtung entstanden.

§. 24. Jede Farbe, sie sei einfach oder zusammengesetzt, kann durch Zusatz von Weiß bis ins völlig Weiße, und durch Zusatz von Schwarz, bis ins völlig Schwarze durch alle Töne (Abstufungen) hindurch gesteigert werden.

Es kann scheinen, als ob Gelb nur ins Weiße, nicht ins Schwarze gesteigert werden könnte; aber der Schein entsteht mehr aus der Sprache, als aus der Sache. Wir nennen nämlich die dunkleren Töne von Gelb, nicht mehr so, sondern Braun. So nennt man z. B. die trockne Oberfläche von Gummi guttae nicht gelb, sondern braun.

Eine gesättigte Farbe würde die sein, die alles Licht, woraus die Farbe besteht (es sei einfach oder zusammengesetzt), zurückgiebt. Giebt sie weniger zurück (es sei, weil sie weniger als eine andere Fläche derselben Farbe empfängt, oder weil ihr Schwarz beigemischt ist), so ist sie ins Dunkle gesteigert. Giebt sie aber außer dem farbigen Lichte auch weißes Licht beigemischt zurück, so ist sie ins Helle gesteigert.

§. 25. Es giebt schwerlich Pigmente, welche die drei Grundfarben völlig unvermischt mit fremdem Lichte darstellten. Doch nähern sich folgende dieser Beschaffenheit. Carmin giebt ein sehr reines Roth. Indigo, auch Berliner Blau, ein ziemlich reines Blau, und Gummi guttae ein ziemlich reines Gelb.

Aus der Mischung von zwei solchen Pigmenten lassen sich nun alle übrigen Farben mischen, und es giebt zwischen jeden zweien eine zusammengesetzte Hauptfarbe. Zwischen Roth und Gelb, Orange; zwischen Gelb und Blau, Grün; zwischen Blau und Roth, Violet. Eigentlich sollten gleiche Theile jeder zwei der genannten Pigmente, die mittlere Hauptfarbe geben; aber sie besitzen nicht gleiche färbende Kraft, und man muß es daher dem geübten Auge des Farbenkünstlers überlassen, die Farben in einem solchen Verhältniß zu mischen, daß genau das Mittel zwischen ihren Bestandtheilen heraus kommt.

§. 26. Stellt man nun die drei Grundfarben nebst den zusammengesetzten drei Hauptfarben in einen kreisförmigen Ring, wie Fig. 134. andeutet, zusammen, so erhält man einen Farbenkreis, über welchen sich mehrere Betrachtungen anstellen lassen.

1. Es ist merkwürdig, daß hier die sechs Hauptfarben, wenn man von Roth, zu Orange, Gelb ꝛc. fortfährt, in derselben Ordnung erscheinen, wie in dem prismatischen Farbenbilde; nur daß, wie oben bemerkt worden, das prismatische Roth schon schon etwas ins Gelbe gezogen ist.

2. Wenn man zwischen jeden zwei Grundfarben nicht bloß eine Mittelfarbe einschaltete, sondern sie unmerklich in einan-

der übergehen ließe, so würde man dadurch eine vollständige Übersicht aller Farben im gesättigten Zustande erhalten, von denen wieder jede bis ins Weiße und Schwarze gesteigert werden könnte, um eine Übersicht aller Töne jeder Farbe zu erhalten. Indessen würde es freilich nicht leicht sein, diese Arbeit mit Genauigkeit auszuführen, so daß nämlich alle Farben mit mathemathischer Genauigkeit gleichförmig in einander übergingen. Doch findet man sehr gute Vorbereitungen dazu in Lamberts Beschreibung einer mit Calauschem Wachs ausgemalten Farben-Pyramide; indem er die färbende Kraft der Haupt-Pigmente durch Zahlen zu bestimmen versucht hat, woraus sich die Verhältnisse ergeben, in denen man allmählig jede zwei Pigmente mischen müßte, um eine beliebige Anzahl von Zwischenstufen zu erhalten.

§. 27. Außer diesen Bemerkungen lassen sich noch andere Folgerungen aus der Hypothese von den drei Grundfarben ableiten, welche in Verbindung mit dem Farbenkreise Versuche veranlassen, durch welche die Richtigkeit der Hypothese geprüft werden kann. Ehe wir aber diese Folgerungen darlegen, wird es zweckmäßig sein, die Art und Geräthschaft der Versuche zu beschreiben.

Newton hatte schon die Idee, Pigmente der sieben Hauptfarben zu mischen, in der Erwartung, daß er Weiß dadurch erhalten werde. Er gesteht aber mit der Wahrheitsliebe, die ihn überall auszeichnet, daß er dadurch nicht Weiß, sondern ein schmutziges Grau erhalten habe. Aber er täuschte sich hier bei seinen Schlüssen. Denn da jede Farbe nur ein Theil des weißen Lichtes ist, so kann eine Mischung von Pigmenten nie Weiß, sondern sie muß Grau geben. Noch sinnreicher haben andere nach ihm die prismatischen Farben so gut, als es sich thun ließ; auf sieben (ungleiche, und nach dem prismatischen Farbenbilde) abgemessene Ausschnitte einer Scheibe gebracht, und diese schnell umgedreht. Denn da der Eindruck des Lichtes nicht augenblicklich im Auge verschwindet, so ist es nicht schwer, die Scheibe so schnell umzudrehen, daß der erste Eindruck einer Farbe noch nicht verschwunden ist, wenn die Farbe zum zweitenmale an dieselbe Stelle kommt. Der Erfolg dieses Versuchs war aber gerade wie der des Newtonischen. Man erhielt Grau, und hielt dieses ohne Grund für einen mit der Newtonischen Theorie schwer zu vereinigenden Umstand.

Die Versuche, auf die es hier ankommt, sind von ähnlicher Art, und wir werden sehen, daß sich der Erfolg sehr gut an die Hypothese anschließt, wofern man die obigen Bemerkungen über Weiß, Grau und Schwarz (§. 25.) richtig anwendet. Folgende höhst einfache Geräthschaft, welche in F. 135. vorgestellt ist, leistet alles Erfoderliche.

Man lasse sich mehrere kreisförmige Scheiben von einem etwas schweren und glatten Holz von $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll Durchmesser drehen. AB ist ein Durchschnitt einer solchen. In der Mitte ist sie durchbohrt, und in die Öffnung eine Schraubenmutter eingeschnitten. In diese wird die Achse CD eingeschraubt, die unterwärts kurz ist, und sich in einer Spitze bei D endigt; oben ist sie $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll lang, dünn und cylindrisch. Bei EF hat sie eine über die Scheibe greifende Wulst.

Man sieht leicht, daß diese Geräthschaft nichts anders ist, als ein Kreisel, den man auf einem ebenen Tische durch schnelle Umdrehung der Achse, auf die unsern Kindern bekannte Art, leicht in eine sehr schnelle Bewegung versetzen kann.

Es gehören ferner zu den Versuchen sechs Blätter Papier, die durch eine geübte Hand sehr gleichförmig illuminirt sind; drei mit den drei Grundfarben, und drei mit den drei zusammengesetzten Hauptfarben. Alle diese Farben müssen aufs möglichste in gleicher Höhe des Tones aufgetragen sein, und es ist zweckmäßiger, einen etwas hellen, als dunkeln oder völlig gesättigten Ton zu wählen. Will man sich außer diesen sechs Blättern noch drei mit gesättigtem oder mit dunklerem Ton illuminiren lassen, so können die Versuche noch mehr vervielfältigt werden.

Der Gebrauch aller dieser Geräthschaften besteht darin, daß man Halbkreise vom Durchmesser der Scheibe aus den farbigen Papieren schneidet, und um den Mittelpunkt so viel wegnimmt, als der Durchmesser der Achse beträgt. Lüftet man dann ein wenig die Achse, so kann man die Mitte eines solchen Halbkreises unter die Wulst schieben, und durch Anziehen der Schraube befestigen. Liegt er am Rande nicht gehörig auf, so kann man ihn mit etwas Wachs befestigen. Hat man nun mehrere solche verschieden gefärbte Halbkreise, so kann man deren zwei, drei oder mehrere befestigen, und sie so legen, daß sie zum Theil einander decken, so daß nur bestimmte Abschnitte oder Farben sichtbar bleiben. Dreht man dann den Kreisel, so

vermischen sich die Eindrücke der Farben vollständig, und man erhält den Eindruck der aus ihnen zusammengesetzten.

Wir wollen diesen Kreisel den Farbenkreisel nennen. Es ist zweckmäßig, deren mehrere zu haben, damit man ein einmal aufgefundenes Farben-Verhältniß festhalten könne.

§. 28. Erster Versuch. Man lege drei Halbkreise von den drei Grundfarben auf den Kreisel, und schiebe sie so, daß gleiche Ausschnitte (zu 120°) von jeder sichtbar bleiben. Dreht man den Kreisel, so verschwinden die Farben, und die Scheibe erscheint grau. Sind die Farben gesättigt, so ist das Grau ziemlich dunkel, und daher ist es zweckmäßig, die Farben in einem etwas hellen Tone zu nehmen.

Schon dieser einzige Hauptversuch spricht sehr entscheidend für die Hypothese von den drei Grundfarben; und da man bei gleichem Farbentone ziemlich gleiche Abschnitte machen muß, so wird es sehr wahrscheinlich, daß in dem weißen Sonnenlichte gleich viel von jeder Grundfarbe enthalten sei. Ist dieses richtig, so folgt, daß jede dieser Farben, im gesättigten Zustande, nur $\frac{1}{3}$ des Lichtes zurückgiebt, welches sie empfängt. Ist nun der Kreis mit gesättigten Farben belegt, so ist klar, daß er beim Umdrehen auch nur $\frac{1}{3}$ des weißen Lichtes, welches er empfängt, zurückgiebt, d. h. er wird, in Vergleichung gegen eine weiße Scheibe, als ein ziemlich tiefes Grau erscheinen, ungefähr so, wie man es aus einem Theile Weiß und zwei Theilen Schwarz erhalten würde.

Hat man einen helleren Ton gewählt, d. h. einen solchen, der nicht bloß farbiges Licht, sondern auch eine Beimischung von weißem enthält, so wird auch das Grau einen helleren Ton erhalten, weil mit dem farbigen Lichte zugleich weißes von der Scheibe strahlt. Ja man würde die Höhe des Tones ungefähr durch Zahlen bestimmen können, wenn man auf einem andern Kreisel zwei schwarze und einen weißen Halbkreis, oder bei sehr hellen Tönen zwei weiße und einen schwarzen Halbkreis befestigte, und das Verhältniß von Schwarz und Weiß so lange abänderte, bis er mit dem Farben-Kreisel gleiches Grau gäbe.

Wenn bei dem Farben-Kreisel das Grau noch in eine wirkliche Farbe spielt, so muß man den Abschnitt dieser Farbe ein wenig verkleinern. Man sieht leicht, daß der vollkommenste Erfolg der Versuche hauptsächlich davon abhängt, daß die Farben gleichen Ton haben, was allerdings nicht ganz leicht zu er-

halten ist. Indessen wird doch auch bei kleineren Abweichungen in der Färbung der Versuch einen so annähernden Erfolg geben, daß man die Richtigkeit der Hypothese auf keine Weise bezweifeln kann.

§. 29. Zweiter Versuch. Wenn man die drei zusammengesetzten Hauptfarben im Farbenkreise betrachtet, so ist klar, daß auch sie die drei Grundfarben, und zwar in gleicher Menge, enthalten. Belegt man daher den Kreisel mit diesen Farben in gleichen Abschnitten, so müssen auch sie Grau geben.

Der genauere Erfolg ist unsicherer als bei dem ersten Versuche, weil hier außer dem gleichen Tone noch erfoderlich ist, daß jede zusammengesetzte Farbe genau das Mittel zwischen den Grundfarben sei, aus welchen sie gemischt ist.

§. 30. Dritter Versuch. In dem Farbenkreise Fig. 134. liegt jeder Grundfarbe eine zusammengesetzte gerade gegenüber, die aus den beiden andern Grundfarben gemischt ist. So liegt dem Roth gegenüber Grün, das aus Blau und Gelb besteht. Es sind also schon in zwei gegenüberliegenden Farben alle drei Grundfarben enthalten, aber bei gleichem Tone und Flächenraum enthält die zusammengesetzte von jeder ihrer beiden Grundfarben nur halb so viel, als die gegenüberliegende Grundfarbe.

Belegt man daher zwei Drittel des ganzen Kreises mit der zusammengesetzten, und ein Drittel mit der einfachen Farbe, so geben auch diese bei dem Umdrehen Grau. Man wird vielleicht auch hier die Verhältnisse beider Farben etwas abändern müssen, wenn Ton und Mischung nicht genau getroffen sind.

Was hier von Roth und Grün gezeigt worden, gilt auch von Gelb und Violet, desgleichen von Blau und Orange.

§. 31. Wir haben in dem Farbenkreise jedes Drittel desselben nur in zwei Theile getheilt. Theilte man jedes Drittel in drei, vier, fünf oder mehrere Theile, belegte dann drei gleich weit von einander entfernte Flächen mit den Grundfarben, und ließe in den Zwischenfächern die eine Grundfarbe durch ganz gleiche Stufen in die andere übergehen, so ist leicht einzusehen, daß auch jetzt noch jede zwei einander gegenüberliegende Farben alle drei Grundfarben enthalten würden. Man nennt zwei solche Farben ergänzende (complementäre), auch entgegengesetzte. Dieses ist die genauere Bestimmung des schon §. 9. erklärten Begriffes.

Es ist merkwürdig, daß nach der Bemerkung des Herrn von Göthe zwei entgegengesetzte Farben neben einander allezeit einen gefälligern Eindruck auf das Auge machen, als zwei näher zusammenliegende.

Mehrere Naturforscher haben in den entgegengesetzten Farben auch eine entgegengesetzte chemische Kraft (eine oxydirende und desoxydirende) wahrnehmen wollen. Die Sache verdient genaue Untersuchung, aber die Versuche haben viele Schwierigkeit.

§. 32. Vierter Versuch. Wenn man die Grundfarben in sehr ungleichem Maaße auf den Kreisel bringt, so zeigt sich nicht Grau, sondern diejenige Farbe, oder eine Mischung derjenigen Farben, die im Überschuß da sind, nur in einem helleren Tone.

So giebt z. B. ein Halbkreis Roth mit zwei Viertelkreisen Blau und Gelb verbunden ein helles, aber reines Roth. Denn 90° Blau und 90° Gelb geben mit 90° Roth weißes Licht, und so bleiben 90° Roth übrig.

Desgleichen zwei Ausschnitte Blau und Gelb, jeder von 135° mit einem Ausschnitt von 90° Roth verbunden, geben ein helles Grün. Im letzten Falle verbinden sich nämlich 90° Roth 90° Blau und 90° Gelb zu weißem Licht, und nur die übrigen 45° Blau und 45° Gelb verbinden sich zu Grün, welches aber durch das beigemischte weiße Licht ins Helle gesteigert ist.

Diese Versuche lassen sich, wie man leicht sieht, sehr vervielfältigen, und der Erfolg stimmt überall so gut mit der Hypothese zusammen, als es nur bei der unvermeidlichen Unvollkommenheit der Färbung zu erwarten ist.

§. 33. Wenn also ein Körper Licht zurückwirft, welches in dem Auge die Empfindung einer ganz reinen Grundfarbe z. B. der rothen erregt, so ist es in der That nur das einfache rothe Licht, was die Empfindung hervorbringt, welches aber eben sowohl ins Dunkle als ins Helle gesteigert werden kann. Das erste ist der Fall, wenn der Körper nicht nur alles gelbe und alles blaue Licht, sondern selbst einen Theil des rothen außer Thätigkeit setzt, oder, wie man zu sagen pflegt, verschluckt. Das andere ist der Fall, wenn der Körper außer dem rothen Lichte auch noch einen kleinen Antheil vom blauen und gelben zurückwirft, und zwar von jedem gleich viel, so daß sich diese Antheile mit einem eben so großen Theile des ro-

then zu weißem Lichte verbinden, und daher das Roth in das Weiße steigern. Wären die Antheile von Gelb und Blau ungleich, so würde die rothe Farbe nicht mehr rein erscheinen.

§. 34. Durch den Inhalt des vorigen §. wird ein Haupteinwurf beseitiget, den die meisten Naturforscher gegen die Hypothese von den drei einfachen Grundfarben des Lichtes gemacht haben, daß man nämlich nicht berechtigt sei, von den Wirkungen der Pigmente auf die Eigenschaften des Lichtes selbst zu schließen, indem wohl kein einziger Körper reines Licht einer einzigen Farbe zurückstrahle. Der vorige §. erklärt, wie dieses zu verstehen sei. Es hat aber auch nicht an ausgezeichneten Naturforschern gefehlt, welche die Hypothese von drei Grundfarben, aller Aufmerksamkeit würdig hielten. Dahin gehört vorzüglich die Abhandlungen des berühmten Tob. Mayer: De affinitate colorum (in den operibus ineditis; Gott. 1775.). Auch Lamberts Schrift, Verschreibung einer mit Calauischem Wachs ausgemalten Farben-Pyramide gehört hieher.

Anm. Hr. Wünsch in Frankfurt hat eine kleine Schrift herausgegeben unter dem Titel: Versuch und Beobachtungen über die Farben des Lichtes (Leipzig 1792.). Er sucht darin aus der Betrachtung des prismatischen Farbenbildes zu beweisen, daß es nur drei Grundfarben gebe, die aber nach ihm nicht Blau, Gelb und Roth, sondern Violet, Grün und das prismatische Roth (also Scharlach- oder Gelbroth) sein sollen, also gerade die Farben, die am unzweideutigsten zusammengesetzt sind. Demohngeachtet enthält diese Schrift sehr viel richtiges und merkwürdiges, welches der Aufmerksamkeit der Naturforscher entgangen zu sein scheint. Der Verfasser dieses Lehrbuches giebt die Hoffnung noch nicht auf, daß er noch so viel Muße finden werde, zu zeigen, daß die hier umständlich entwickelte Idee von drei Grundfarben weder mit den Versuchen und Schlüssen des Hrn. Wünsch, noch mit dem, was im Anfange dieses Capitels über die Entstehung des prismatischen Farbenbildes gesagt worden, im Widerspruch stehe. Für jetzt mag die genaue Übereinstimmung aller Versuche mit der Hypothese ihre Richtigkeit verbürgen.

Funfzigſtes Capitel.

Das Spiegelteleskop und achromatiſche Fernrohr.

§. 1. Die Geſchichte der Optik iſt für den denkenden Beobachter der Fortſchritte des menſchlichen Geiſtes, ſo lehrreich, daß wir für den Vortrag dieſes Capitels die geſchichtliche Form wählen, und nur ſo viel theoretiſche Erörterungen einſchalten wollen, als für die Verſtändlichkeit des hiſtoriſchen Vortrages erfoderlich ſein möchten.

Optiſche Irrthümer vor Newton.

§. 2. Der treffliche Kepler hielt die Geſchwindigkeit des Lichtes für augenblicklich, bis es gelang, durch Beobachtungen der Jupiter-Trabanten dieſe Geſchwindigkeit zu meſſen. Auch glaubte er, daß bei der Brechung des Lichtes nicht die Sinus, ſondern die Winkel ſelbſt ein unveränderliches Verhältniß hätten. Damals wußte man von den Quellen der Undeutlichkeit bei optiſchen Werkzeugen eigentlich gar nichts. Als Snellius das richtige Brechungsgeſetz entdeckt hatte, fand Des Cartes die erſte, aber geringere Quelle der Undeutlichkeit, die Abweichung wegen der Geſtalt (XLIX. §. 17. a.). Aber er verfiel in den Irrthum, daß dem Übel durch eine andere als die ſphäriſche Krümmung der Gläſer abgeholfen werden könne; eine unrichtige Vorſtellung, welche ſelbſt jetzt noch nicht ganz beſeitigt zu ſein ſcheint.

Denkwürdige Irrthümer Newtons in der Farbenlehre.

§. 3. Newton entdeckte in der Farbenzerstreuung die zweite, viel wichtigere Quelle der Undeutlichkeit (XLIX. §. 17. b.). Seine Untersuchungen über diesen Gegenstand werden, so lange man die Wissenschaften schätzen wird, ein Muster scharfsinniger und genauer Untersuchungen bleiben. Aber er vollendete die Untersuchungen nicht, und indem er eine Seite des Gegenstandes, deren Wichtigkeit er nicht ahnete (die Brechung in verschiedenen Mitteln), nur beiläufig berührte, fiel er in höhst denkwürdige und folgenreiche Irrthümer.

§. 4. Newton hatte alle seine Untersuchungen über die Farbenzerstreuung mit Prismen von einerlei Glasart angestellt. Zur Vollständigkeit der Untersuchung aber wäre erfoderlich gewesen, auch die Farbenzerstreuung anderer durchsichtiger Mittel zu prüfen. Er berührte diese Untersuchung beiläufig im 2ten Theile des 1sten Buchs seiner Optik, fiel aber dabei in drei Irrthümer.

a. Er machte eine falsche Beobachtung. Er sagt (a. a. O. Exp. 8.): er habe Licht durch Wasser und Glas, mit allerlei Veränderungen in der Lage der brechenden Flächen, gehen lassen, und habe gefunden, daß das ausfahrende Licht allezeit gefärbt gewesen sei, wenn es dem einfallenden nicht parallel gewesen, hingegen sei es allezeit farbenlos gewesen, wenn es dem einfallenden parallel gewesen sei. Die Folge hat gelehrt, daß diese Beobachtung falsch war.

b. Er setzte stillschweigend und ohne Experimental-Untersuchung voraus, daß die Räume, welche die Far-

ben in dem prismatiſchen Bilde einnehmen, aus welcher Materie auch das Prisma beſtehe, einerlei Verhältniß gegen einander haben; ſo daß ſich aus dem mittelbaren Brechungs-Verhältniß die ganze Farben-Vertheilung müſſe beſtimmen laſſen. Auch dieſer Schluß war falſch, wie die Folge gelehrt hat. Ja er ſcheint ſogar überſehen, oder nicht genug beachtet zu haben, daß ſich die Verhältniſſe der farbigen Räume ſchon mit der Entfernung vom Prisma ändern.

c. Er leitete aus dem unter a. erwähnten Verſuche ein Geſetz ab, wodurch die Farbenzerſtreuung in zwei durchſichtigen Mitteln verglichen werden könnte. Er ſah dies Geſetz als allgemein richtig an: allein man hat in der Folge gefunden, daß es ſich nur bei ſehr kleinen Brechungswinkeln der Richtigkeit nähert, und daß eigentlich aus dem Verſuche, wenn er auch richtig geweſen wäre, gar kein beſtimmtes Geſetz der Farbenzerſtreuung abgeleitet werden könne.

§. 5. Wären dieſe Behauptungen Newtons richtig, ſo bedarf es eben keiner tiefen Einſichten in die Mathematik, um einzuſehen, daß bei einem dioptriſchen Inſtrumente die Wirkung der Farbenzerſtreuung auf keine Art gehoben werden könne. Denn ſollte die Farbenzerſtreuung gehoben werden, ſo müßte man die Einrichtung ſo machen, daß jeder aus dem letzten Glaſe ausfahrende Strahl vollkommen, oder faſt genau, wieder parallel würde mit der Richtung, die er vor dem Eingange ins Objectivglas hatte: dann würde man aber durch ein ſolches Inſtrument nichts weiter ſehen, als was das bloße Auge zeigte, nur dunkler und undeutlicher. Newton gab daher die dioptriſchen Fernröhre als unheilbar krankend auf; aber die Irrthümer des

großen Mannes hatten die heilsame Folge für die Optik, daß er Erfinder des Spiegeltelescops wurde.

Das Spiegel-Telescop.

§. 6. Der wesentliche Theil des Newtonischen Spiegeltelescops ist ein metallner Sammelspiegel, der die Stelle eines Objektivglases vertritt. Er wird auf dem Boden einer Röhre, deren Länge seiner Brennweite gleich ist, so befestigt, daß er seine polirte Fläche einwärts gegen die andere Öffnung der Röhre kehrt. Wird nun die gemeinschaftliche Achse dieses Spiegels und der Röhre gegen einen entfernten Gegenstand gerichtet, so entsteht (nach XLVI. 13.) ein kleines verkehrtes Bild desselben im Brennpunkte. Dies Bild läßt aber Newton nicht zur Wirklichkeit kommen, sondern fängt es in einer Entfernung vor dem Brennpunkte, die ungefähr dem Halbmesser der Röhre gleich ist, mit einem kleinen, ebenen Metallspiegel auf, der mitten in der Achse des Rohrs an einem dünnen Arme befestigt ist, und mit der Achse einen Winkel von 45 Graden macht. Dieser kleine Spiegel reflectirt also das Licht, das er von dem großen Spiegel erhält, gegen die eine Seitenwand des Rohres, so daß das Bild, welches der große Spiegel macht, hier zur Wirklichkeit kommt. An dieser Stelle ist die Röhre durchbrochen, und man betrachtet das Bild wie im Kepplerschen Sternrohr (XLVIII. 8.) durch ein kleines mikroskopisches Linsenglas.

Da bei der Zurückstrahlung von Metallspiegeln keine Farbenzerstreuung statt findet, und selbst die Abweichung wegen der Kugelgestalt nur gering ist, so ist das Bild eines solchen Spiegels ohne Vergleich deutlicher als das Bild eines einfachen Objectivglases. Es

verträgt daher eine weit ſtärkere Vergrößerung, und die Ausführung zeigte, daß man mit einem ſolchen katoptriſchen Fernrohr von wenig Fußen mehr ausrichten konnte, als mit den längſten mehr als 100füßigen dioptriſchen Fernröhren.

§. 7. Gregory verbeſſerte das Spiegelteleſkop dadurch, daß er ſtatt des kleinen ſchiefſtehenden Planſpiegels einen kleinen Sammelſpiegel, parallel mit dem großen, vorne ins Rohr ſetzte, ſo daß er ſeine polirte Fläche dem großen Spiegel zukehrt. Dieſer kleine Spiegel wird ſo geſtellt, daß ſein Brennpunkt noch ein wenig außer der Brennweite des großen Spiegels liegt. Betrachtet man nun das verkehrte Bild, welches der Objectivſpiegel macht, als einen Gegenſtand, der ſein Licht auf den kleinen Spiegel wirft, ſo ſieht man leicht (aus XLVI. §. 9. Fig. 93.), daß der kleine Spiegel ein zweites aufrechtes und etwas größeres Bild in der Nähe des großen Spiegels machen wird. Der kleine Spiegel kann ſo geſtellt werden, daß dieſes Bild noch hinter den großen Spiegel fallen würde, wenn das Licht durch dieſen hindurch gehen könnte. Um nun die Entſtehung dieſes Bildes möglich zu machen, hat der große Spiegel in der Mitte ein rundes Loch, ungefähr von der Größe des kleinen Spiegels, durch welches das vom kleinen Spiegel reflectirte Licht hindurch geht. Es würde alſo hinter dem Spiegel ein Bild entfernter Gegenſtände entſtehen, wenn man das Licht nicht mit einem Collectivglaſe auffinge, ehe es zur Wirklichkeit kommt. Hiedurch ſammelt man die Strahlen in ein kleineres Bild (XLVIII. §. 5. Fig. 124.), welches endlich durch eine mikroſkopiſche Linſe betrachtet wird.

Dieses künstlich zusammengesetzte Instrument hat vor dem Newtonischen hauptsächlich den Vorzug, daß man die Gegenstände in der Richtung, in der sie wirklich stehen, und zwar aufrecht sieht.

§. 8. Neuerlich ist der berühmte Herschel, um möglichst starke Vergrößerungen, und um möglichst starkes Licht (woran es dem Gregorianischen Spiegeltelescope fehlt) zu erhalten, wieder zu der Newtonischen Einrichtung zurückgekehrt; aber mit einer Abänderung, die nur bei sehr großen Instrumenten dieser Art anwendbar ist. Er läßt den kleinen Spiegel ganz weg, und richtet das Rohr z. B. gegen einen Stern so, daß er nicht in der Achse, sondern über derselben steht. Stellt man sich einen Strahl vor, der von diesem Stern nach der Mitte des Spiegels geht, so muß das Rohr so gestellt sein, daß derselbe nahe am obern Rande des Rohres vorbeigeht. Dieser Strahl wird aber offenbar nach dem gegenüberliegenden untern Rande der Öffnung des Rohres reflectirt, und wenn die Länge des Rohres der Brennweite des Spiegels gleich ist, so entsteht nahe am unteren Rande der Öffnung des Rohres das Bild des Sternes. Hier kann man also dieses Bild ganz unmittelbar durch eine kleine Linse betrachten, wofern nur die Öffnung des Rohres so groß ist, daß der Theil derselben, welchen der Kopf des Beobachters verdeckt, gegen die ganze Öffnung nicht beträchtlich ist. Man gewinnt durch diese Einrichtung bei sehr großen Instrumenten an Licht, Deutlichkeit und Vergrößerung.

Eulers Scharfſinn und Irrthum. Dollond. Klingenſtierna.

§. 9. Newtons Verirrung blieb ein halbes Jahrhundert unentdeckt; ja Leonh. Euler, der ſcharfſinnigſte Analytiker des verfloſſenen Jahrhunderts, ſchien Newtons Verſuch und die daraus gezogenen Folgerungen gar nicht zu kennen, als er im Jahre 1747 aus einer ganz einfachen Betrachtung des menſchlichen Auges den Schluß machte: es müſſe eine farbenloſe Brechung möglich ſein, weil in einem geſunden menſchlichen Auge keine farbigen Ränder an den Bildern bemerkbar ſind. Er vermuthete, daß dieſes durch die Verbindung der verſchiedenen ungleichartigen Feuchtigkeiten im Auge bewirkt werde; und er hielt es für möglich, dieſes Kunſtſtück nachzuahmen, wenn man zwei convex-concave Gläſer mit den concaven Seiten auf einander legte, und die dadurch entſtehende Hölung mit Waſſer füllte. Er umfaßte dieſen Gegenſtand mit der Allgewalt ſeines Calcüls; aber er mußte zu dieſem Zwecke die Kraft, mit welcher das Waſſer die Farben zerſtreut, eben ſo genau kennen, als man die Farbenzerſtreuung des Spiegelglaſes aus Newtons Unterſuchungen kannte. Hiezu ſchienen zwei Wege offen zu ſtehen, Verſuche oder Speculation. Er wählte den letztern, als hätte der große Mann durch ſein Beiſpiel lehren ſollen, daß ſelbſt die mathematiſche Speculation irre führt, wenn ſie die leitende Hand der Erfahrung verſchmäht. Er ſetzte wie Newton voraus, daß die Farbenzerſtreuung in allen brechenden Mitteln unter einem gemeinſamen Geſetze ſtehe, und unterſuchte, wie dieſes Geſetz beſchaffen ſein müſſe. Er fand ein ſolches Geſetz, und zeigte ſehr richtig, daß es das einzig mögliche ſei, welches allen Fo-

derungen, die man von Seiten der Analysis machen könne, Genüge thue. Dies Gesetz war von Newtons Gesetze gänzlich verschieden, aber Euler kannte, wie es scheint, das Newtonische gar nicht. Er berechnete also aus seinem Gesetze, wie die Flächen eines aus Glas und Wasser zusammengesetzten Objectivglases beschaffen sein müßten, wenn es ein farbenloses Bild geben sollte (Hist. de l'académie de Berlin. 1747. S. 174. u. f.).

§. 10. Eulers Untersuchung machte Aufsehen. Die geschicktesten Künstler versuchten solche Objectivgläser zu schleifen; aber alle Mühe war vergeblich. Der ältere Dollond, ein vortrefflicher englischer Künstler, entdeckte zuerst den Widerspruch zwischen Newtons und Eulers Gesetz der Farbenzerstreuung; und da Eulers Gesetz sich nicht durch den Erfolg zu bestätigen schien, so glaubte er, die Wahrheit liege auf Newtons Seite. Euler, ohne Newtons Versuche und Schlüsse zu prüfen, begnügte sich durch die strengsten Schlüsse zu zeigen, daß sein Gesetz das einzig mögliche sei (Hist. de l'acad. de Berlin. 1753. S. 294. u. f.), und suchte den Grund des Mißlingens in den großen Schwierigkeiten einer genauen Ausführung.

§. 11. Klingenstierna, ein sehr gründlicher schwedischer Mathematiker, unterwarf Newtons Behauptungen über diesen Gegenstand einer strengen Prüfung und fand, daß aus Newtons Versuche (§. 4. a.), genau genommen, nicht ein, sondern viele einander widersprechende Gesetze der Farbenzerstreuung folgten: daß also hier irgendwo ein Irrthum stecken müsse. (Abhandl. der schwedisch. Academie von 1754; in Kästners Übersetzung S. 300. u. f.).

§. 12. Hiedurch wurde Dollond veranlaßt, Newtons Verſuch zu wiederholen, und fand, daß dieſer falſch war; aber daß auch Eulers Geſetz nicht das richtige ſein könne, weil der Erfolg des Verſuches auch dieſem nicht gemäß war. Da ihm indeſſen Eulers Schluß aus dem Baue des Auges Gewicht zu haben ſchien, ſo unternahm er die weitere Unterſuchung auf dem Experimentalwege. Er fand, daß Glas und Waſſer zu dieſem Zweck nicht tauglich wären, unterſuchte daher mehrere Glasarten, und fand, daß es deren giebt, die das Licht merklich anders brechen und die Farben ſtärker zerſtreuen, als das gemeine Glas. Nach vielen Verſuchen gelang es ihm, zwei Prismen zu Stande zu bringen, die, mit den brechenden Winkeln in entgegengeſetzter Lage an einander gelegt, eine beträchtliche Brechung, und doch ein ganz farbenloſes ausfahrendes Licht gaben. Das eine Prisma beſtand aus engliſchem Kronglas (grünlichem Spiegelglas), und hatte einen brechenden Winkel von 30°; das andere beſtand aus Flintglas (engliſchem Kryſtallglas), und hatte einen brechenden Winkel von 19°.

§. 13. Durch dieſen Erfolg überzeugte ſich Dollond von der Möglichkeit, aus Kron- und Flintglas ein Objectivglas zuſammenzuſetzen, welches farbenloſe Bilder machte. Es gelang ihm, ein ſolches aus einem Sammelglaſe von Kronglas, und einem Zerſtreuungsglaſe von Flintglas zu Stande zu bringen, und ſo wurde er Erfinder des achromatiſchen (d. i. farbenloſen) Fernrohrs.

§. 14. Euler vergütigte dem Publicum ſeinen Irrthum, der dieſe merkwürdige Erfindung veranlaßt hatte, ſehr reichlich dadurch, daß er ſich einer Arbeit unterzog, der er vielleicht ganz allein gewachſen war. Er brachte

nicht nur die Theorie der Abweichung wegen der Farbenzerstreuung, sondern die noch viel schwerere der Abweichung wegen der Kugelgestalt, auf höhst allgemeine und doch bewundernswürdig einfache Formeln zurück; so daß man jetzt beide Arten der Abweichung für jede beliebige Stellung von Gläsern ohne Schwierigkeit berechnen kann. Er zeigte, daß dreifache Objectivgläser (aus zwei Sammelgläsern von Kronglas, und einem dazwischen gestellten Zerstreuungsglase von Flintglas) bedeutende Vorzüge vor Dollonds doppelten haben würden; er zeigte, wie man die Oculargläser zu solchen Objectiven auf das vortheilhafteste anordnen müsse, und stellte alle seine Untersuchungen in einer solchen Allgemeinheit an, daß sie gegenwärtig auf alle erdenklichen Arten von optischen Instrumenten angewendet werden können. Kurz er zeigte den bloßen Empirikern, daß zwar die Theorie irren könne, wenn sie von unrichtigen Voraussetzungen ausgeht, daß sie aber auch, wenn sie einmal den richtigen Weg gefunden habe, weit mehr leisten könne, als alle Empirie. Euler lieferte alle seine optischen Untersuchungen vereinigt, in einem Werke, das unter dem Titel erschienen ist: Dioptrica, auctore Eulero. Petropoli 1769 — 1771. 3 Tom. 4. Späterhin hat sich Klügel durch seine Analytische Dioptrik Leipzig 1778, 4. ein sehr wesentliches Verdienst um die Optik erworben, indem er Eulers Theorie gedrängter, aber faßlicher und lichtvoller vorgetragen hat. Diese beiden Werke sind die eigentlichen Quellen, aus welchen jetzt alle tieferen optischen Kenntnisse geschöpft werden müssen. Priestley's Geschichte der Optik, aus dem Engl. übers. von Klügel (Leipz. 1776. 2 Th. 4.) ist ein Werk, das hier nicht unerwähnt bleiben darf,

weil es über alle Gegenstände der Optik für den gründlichen Naturforscher eben so interessant, als für den Liebhaber faßlich und belehrend ist.

Eulers Schluß aus dem Bau des Auges war nicht genau, führte aber dennoch zu wichtigen Entdeckungen. Beide Abweichungen können, wie schon Dollond richtig bemerkte, im Auge nicht gehoben sein. Wären sie es, so müßte ein gesundes Auge mehr sehen, als uns das vollkommenste Vergrößerungsglas zeigt. Aber sie sind auf eine bewundernswürdige Art vermindert. Denn das Gesichtsfeld, welches ein Auge unmittelbar übersieht, ist so groß, daß das größte Gesichtsfeld eines optischen Instrumentes eine Kleinigkeit dagegen ist; welches nicht möglich wäre, wenn nicht beide Abweichungen durch eine tiefere, als dem Menschen erreichbare Kunst, unmerklich gemacht wären. Es sind hierüber viele gründliche Untersuchungen angestellt worden. Besonders hat Frauenhofer mit großem Scharfsinn nicht nur die Wirklichkeit der Farbenzerstreuung im Auge erwiesen, sondern sogar sichere Mittel erfunden, sie zu messen, und bei der Construction achromatischer Fernröhre mit in Anschlag zu bringen. Man sehe Gilberts Annalen B. 56. S. 304. ff.

§. 15. Die ungemein wichtigen Vorzüge der achromatischen Fernröhre, vor denen aus einerlei Glasart, sind hauptsächlich folgende.

1. Das Bild, welches ein achromatisches Objectivglas von ein Paar Fuß Brennweite hervorbringt, verträgt eine stärkere Vergrößerung, als das eines einfachen Objectivglases von 20, 30 oder mehr Fuß Brennweite. Ein solches Fernrohr ist daher viel bequemer zu handhaben.

2. Ein gutes achromatisches Objectivglas verträgt eine so starke Apertur, daß die Helligkeit beinahe der natürlichen gleich kommt.

3. Zum astronomischen Gebrauche pflegt man nach Eulers Vorschrift zwei, zum terrestrischen vier ungleiche Oculargläser, mit dem Objectivglase zu verbinden. Durch diese können zwar von Neuem beide Arten der Abweichung in das letzte Bild, das man sieht, gebracht werden; indessen hat Euler gezeigt, daß man durch genaue Bestimmung der Brennweiten und Krümmungshalbmesser beide Arten so vermindern kann, daß die Bilder ungemein scharf, nnd deutlich werden.

4. Endlich besteht ein Hauptvorzug darin, daß man durch gehörige Anordnung der Oculare ein weit größeres Gesichtsfeld als bei den gemeinen Fernröhren erhalten kann.

5. Vergleicht man sie mit Spiegel-Teleskopen, so übertreffen sie diese bei gleicher Länge und Vergrößerung an Helligkeit und Gesichtsfeld. Nur bei den stärksten erreichbaren Vergrößerungen scheinen sie großen Spiegel-Teleskopen den Rang noch nicht abgewonnen zu haben.

Ihre Verfertigung, so wie die Zubereitung des Flintglases ist nicht ohne Schwierigkeit. Anfänglich schien die Ausführung bloß in England zu gelingen, und besonders zeichneten sich die Instrumente von Dollond (Vater und Sohn) und von Ramsden aus. Seit mehreren Jahren verfertigt man auch in Frankreich und Deutschland sehr gute Fernröhre dieser Art. Ja die Instrumente, welche aus der Frauenhoferschen Anstalt in Baiern hervorgehen, übertreffen alles, was bisher in England und Frankreich geleistet worden.

§. 16. Bei zusammengesetzten Mikroskopen ist es sehr schwierig, die Objectivlinsen achromatisch zu machen, wegen der kurzen Brennweite, die sie haben müssen. Indessen ist die Achromasie bei diesen Instru-

menten nie ſo nöthig als bei Fernröhren, da man nicht nöthig hat, ihnen, wie den gemeinen Fernröhren, eine unbequeme Länge zu geben, wenn man ſtarke Vergrößerungen haben will. Werden nur die Brennweiten, Krümmungshalbmeſſer, Aperturen, Blendungen gründlich berechnet, ſo leiſten ſie alles, was man verlangen kann, auch wenn ſie aus einer einzigen Glasart beſtehen.

Herr Ober-Bergrath Schaffrinsky in Berlin hat indeſſen verſucht, Mikroſkope mit achromatiſchen Linſen zu verfertigen, welche ſehr gute Wirkung thun.

Mathematiſche Zuſätze.

§. 17. Wir wollen für Leſer, welche die nöthigen mathemathiſchen Vorkenntniſſe beſitzen, noch ſo viel von der mathematiſchen Farbenlehre hinzufügen, als nöthig iſt, um ihnen eine deutliche Einſicht von der Möglichkeit achromatiſcher Bilder zu verſchaffen.

§. 18. Erfahrung. Wenn zwiſchen den parallelen Ebenen AB, CD und EF Fig. 136. Mittel von verſchiedener Brechungskraft, über AB und unter EF aber einerlei Mittel befindlich iſt, und es fällt ein Lichtſtrahl GH auf die oberſte Fläche, der durch H, I und K nach L hingebrochen wird; ſo iſt der ausfahrende Strahl KL allezeit dem einfallenden Strahle GH parallel, folglich farbenlos.

§. 19. Lehrſatz. Wenn n : 1 das Brechungs-Verhältniß aus Luft in irgend ein Mittel A, und m : 1 das Brechungs-Verhältniß aus Luft in ein anderes Mittel B iſt, ſo iſt das Brechungs-Verhältniß aus dem Mittel A in das Mittel B, m : n.

Beweis. Es ſei Fig. 136. über AB und unter EF Luft. Zwiſchen AB und CD befinde ſich das Mittel A; zwiſchen CD und EF das Mittel B. Man ziehe durch H, I und K die Einfallslothe MN, OP, QR, und nehme an, das Brechungs-Verhältniß aus A in B ſei x : y; ſo verhält ſich

Sin GHM : Sin NHI = n : 1
Sin HIO : Sin PIK = x : y
Sin IKQ : Sin RKL = 1 : m.

Da nun NHI = HIO, ferner PIK = IKQ, endlich (nach §. 18.) auch GHM = RKL, so erhält man durch Zusammensetzung dieser drei Proportionen

$$1 : 1 = nx : my,$$

also $nx = my$; woraus folgt

$$x : y = m : n.$$

§. 20. Lehrsatz. Es sei CAB, ABD Fig. 137. ein senkrechter Durchschnitt zweier an einander gelegter Prismen von verschiedener Brechungskraft; für das erste sei das Brechungs-Verhältniß n : 1, für das zweite m : 1; ein Lichtstrahl EFGHI werde in beiden so gebrochen, wie die Figur zeigt; man verlängere den einfallenden Strahl EF, und den ausfahrenden HI, bis sie sich in Q schneiden. Nimmt man nun an, daß die Brechungs-Verhältnisse von den Winkeln selbst gelten, so ist der Winkel, um welchen der Strahl durch alle Brechungen aus seiner ersten Richtung abgelenkt wird

$$IQR = (n - 1)\ CAB - (m - 1)\ ABD.$$

Beweis. Man errichte in den Punkten E, G, H die Einfallslothe KL, SM, NO, und verlängere sie, bis sich das erste und zweite in L, das zweite und dritte in N schneiden; zur Abkürzung setze man

$$CAB = A;\ ABD = B;\ EFK = F;$$

auch bemerke man vorläufig, daß die spitzigen Winkel, welche die beiden Einfallslothe, die zu jedem Prisma gehören, machen, dem brechenden Winkel in jedem Prisma gleich sind, also

$$SLF = CAB = A;\ HNG = ABD = A;$$

welches schon oben (XLIX. 4. Anm.) erwiesen worden. Dies vorausgesetzt, so ist

$$LFP : LFG = n : 1;\ \text{also}\ LFG = \frac{1}{n} F;$$

$$LGF = SLF - LFG = A - \frac{1}{n} F.$$

Da ferner nach §. 19.

$$LGF : HGM = m : n,$$

$$\text{so ist}\ HGM = \frac{n}{m} LGF = \frac{n}{m} A - \frac{1}{m} F;$$

$$NHG = HGM - HNG = \frac{n}{m} A - \frac{1}{m} F - B;$$

und da $NHG : IHO = 1 : m$, ſo iſt

$$IHO = mNHG = nA - F - mB.$$

Hieraus ergiebt ſich,

$$IQR = QHP + HPQ = QHP + FGP + PFG.$$

Es iſt aber

1) $QHP = IHO - NHG = +nA - F - mB$
$$- \frac{n}{m} A + \frac{1}{m} F + B.$$

2) $FGP = HGM - LGF = + \frac{n}{m} A - \frac{1}{m} F$
$$- A + \frac{1}{n} F.$$

3) $PFG = EFK - LFG = + F$
$$- \frac{1}{n} F.$$

Folglich iſt

$$IQR = (n - 1) A - (m - 1) B;$$

w. z. e. w.

§. 21. Zuſatz. Die Brechungs-Verhältniſſe $n : 1$ und $m : 1$ mögen ſich auf Strahlen von mittlerer Brechbarkeit beziehen; für die brechbarſten violeten mögen dieſe Verhältniſſe $N : 1$ und $M : 1$ ſein; ſo wird der Winkel, um welchen die letzten nach allen Brechungen aus ihrer erſten Richtung abgelenkt werden, ſein

$$IQR = (N - 1) A - (M - 1) B.$$

Soll nun das ausfahrende Licht farbenlos ſein, ſo müſſen die Strahlen der verſchiedenen Farben nach allen Brechungen einander parallel werden, folglich der Winkel IQR für alle gleich ſein; dann iſt alſo

$$(n - 1) A - (m - 1) B = (N - 1) A - (M - 1) B,$$

woraus folgt

$$(N - n) A = (M - m) B,$$

oder $M - m : N - n = A : B$.

Da nun nach Dollond's Verſuchen (§. 13.) Kron- und Flintglas eine farbenloſe Brechung geben, wenn $A = 30°$, und $B = 19°$, ſo verhält ſich

$$N - n : M - m = 19 : 30$$

oder beinahe $= 2 : 3.$

Man nennt aber die Werthe $N - n$ und $M - m$ das Maaß der Farbenzerstreuung. Dies Verhältniß ist es, welches durch kein allgemeines Gesetz bestimmt werden kann, sondern in jedem Falle unmittelbar durch Versuche gefunden werden muß.

§. 22. Anmerkung. Wäre Newtons Versuch (§. 4. a.) richtig, so müßte, wenn das ausfahrende Licht farbenlos sein soll, IQR sowohl für die mittlern als violeten Strahlen $= 0$ sein. Dann hätte man

$$(n-1)\,A = (m-1)\,B,$$

oder $m - 1 : n - 1 = A : B,$

desgleichen $(N-1)\,A = (M-1)\,B,$

also $M - 1 : N - 1 = A : B.$

Hieraus würde folgen

$$M - 1 : m - 1 = N - 1 : n - 1,$$

oder wenn man schließt: wie die Differenz des ersten und zweiten Gliedes zum zweiten, so ist die Differenz des dritten und vierten zum vierten:

$$M - m : m - 1 = N - n : n - 1,$$

oder $M - m : N - n = m - 1 : n - 1.$

Dies war Newtons falsches Gesetz. Es war falsch 1) weil es sich auf eine falsche Beobachtung gründete; 2) weil dabei die Voraussetzung gemacht wird, daß das Brechungsverhältniß dem Winkel selbst zukomme, welches nur bei sehr geringen Brechungen der Wahrheit nahe kommt. Berechnet man die Brechungen scharf, so folgt aus Newtons Versuch gar kein bestimmtes Gesetz (§. 11.).

§. 23. Anmerk. Eulers falsches Gesetz (§. 9.) war hievon sehr verschieden. Er glaubte M müsse von m auf dieselbe Art abhängig sein, wie N von n, und er zeigte sehr richtig, daß dies nur dann möglich wäre, wenn sich verhielte

$$\text{Log } M : \text{Log } m = \text{Log } N : \text{Log } n.$$

§. 24. Aufgabe. In A Fig. 138. stehe ein sphärisches Glas, für welches das mittlere Brechungs-Verhältniß $n : 1$ ist; in B, so dicht neben dem vorigen, daß $AB = 0$, stehe ein Glas von anderer Art, für welches das mittlere Brechungsverhältniß $m : 1$ ist; beide Gläser sollen so stehen, daß AD ihre gemeinschaftliche Achse ist; es soll die Stelle bestimmt werden, in

welcher das Bild eines unendlich entfernten Gegenſtandes nach den Brechungen durch beide Gläſer ſtehen wird.

Auflöſung. Die Brennweite des erſten Glaſes ſei = p, des zweiten = q. Sind f und g die Halbmeſſer der beiden Flächen des erſten Glaſes, h und i aber die Halbmeſſer der Flächen des zweiten Glaſes, ſo hat man (nach XLVII. §. 22.), wenn man zur Abkürzung

$$\frac{1}{f}+\frac{1}{g}=F \text{ und } \frac{1}{h}+\frac{1}{i}=H \text{ ſetzt,}$$

$$\frac{1}{p}=(n-1)F;\ \frac{1}{q}=(m-1)H.$$

Nun ſei C der Brennpunkt des erſten Glaſes A, ſo liegt das Bild eines unendlich entfernten Gegenſtandes, welches durch dieſes Glas gemacht wird, in C.

Dieſes Bild vertritt für das zweite Glas die Stelle eines Gegenſtandes, und das Bild, welches von demſelben durchs zweite Glas B gemacht wird, liege in D, ſo iſt BD die zu beſtimmende Größe.

In der allgemeinen Formel $\frac{1}{p}=\frac{1}{a}+\frac{1}{\alpha}$ (XLVII. §. 23.) iſt in unſerm gegenwärtigen Falle ſtatt p zu ſchreiben q, und $-BC$ ſtatt a, weil der Gegenſtand in der Entfernung BC hinter dem Glaſe liegt. Da wir aber $AB=0$ annehmen, ſo iſt $-BC=-AC=-p$; und ſo haben wir

$$\frac{1}{q}=-\frac{1}{p}+\frac{1}{BD};\ \text{oder}\ \frac{1}{BD}=\frac{1}{p}+\frac{1}{q},$$

oder, wenn man für $\frac{1}{p}$ und q ihre oben angegebenen Werthe ſetzt,

$$\frac{1}{BD}=(n-1)F+(m-1)H;$$

$$\text{alſo } BD=\frac{1}{(n-1)F+(m-1)H}.$$

§. 25. Zuſatz. Für die brechbarſten Strahlen ſei das Brechungsverhältniß im erſten Glaſe N:1, im zweiten M:1. Iſt nun E die Stelle, wo das durch die brechbarſten Strahlen hervorgebrachte Bild ſteht (XLIX. §. 16.), ſo iſt nach §. 24.

$$BE=\frac{1}{(N-1)F+(M-1)H}.$$

Soll nun die Zuſammenſetzung achromatiſch ſein, ſo müſſen die Bilder von allen Farben in eins zuſammenfallen, alſo BE = BD ſein, woraus folgt

$(n-1)F+(m-1)H=(N-1)F+(M-1)H$,
oder $(N-n)F+(M-m)H=0$.

Da nun

$$\frac{1}{p}=(n-1)F;\ \text{also}\ F=\frac{1}{(n-1)p};$$

$$\frac{1}{q}=(m-1)H;\ \text{also}\ H=\frac{1}{(m-1)q};$$

so ergiebt sich

$$\frac{(N-n)}{(n-1)p}+\frac{(M-m)}{(m-1)q}=0;$$

oder, wenn man durch pq multiplicirt, und das zweite Glied auf die rechte Seite bringt,

$$\frac{N-n}{n-1}q=-\frac{M-m}{m-1}p;\ \text{woraus folgt}$$

$$p:q=\frac{N-n}{n-1}:-\frac{M-m}{m-1}.$$

So müssen sich also die Brennweiten beider Gläser verhalten, wenn die farbigen Bilder in gleicher Entfernung hinter dem zusammengesetzten Objectivglase stehen solle.

§. 26. Zusatz. Soll aber das Bild in der That farbenlos sein, so müssen die verschiedenen farbigen Bilder auch gleiche Größe haben. Diese Bedingung aber ist schon erfüllt, wenn p und q das eben bestimmte Verhältniß haben, oder, was dasselbe sagt, wenn BE=BD.

Denn nach XLVII. §. 24. ist der Halbmesser eines Bildes entweder $-p\ \text{Tang}\varphi$ oder $\frac{a}{\alpha}b$. In der ersten Formel ist φ der halbe Winkel, unter welchem der Gegenstand erscheint, wenn er aus dem optischen Mittelpunkte des Glases betrachtet wird, und p die Brennweite. In der zweiten Formel ist a die vordere, α die hintere Vereinigungsweite der Strahlen, und b die halbe Größe des Gegenstandes.

Betrachtet man nun zuerst das Glas in A und ist φ der Winkel, welchen der höhste vom Gegenstande kommende Hauptstrahl mit der Achse macht, so ist die halbe Größe des Bildes, welches in C entstehen würde, wenn das zweite Glas nicht da wäre, $=-p\ \text{Tang}\varphi$.

Betrachtet man nun dieses Bild als einen Gegenstand für das zweite Glas in B, so muß man die Größe des zu diesem Glase gehörigen Bildes nach der zweiten Formel $(\frac{a}{\alpha}b)$ bestim-

men, indem man $\alpha = BE$ oder $= BD$ ſetzt, je nachdem von mittleren oder von den brechbarſten Strahlen die Rede iſt; a aber iſt $= -BC$, weil der Gegenſtand hinter dem Glaſe ſteht; b endlich iſt $= -p \operatorname{Tang} \varphi$. Nennt man nun die halbe Größe des geſuchten Bildes

1. für mittlere Strahlen β', ſo iſt

$$\beta' = \frac{BE}{BC} p \operatorname{Tang} \varphi = BE \operatorname{Tang} \varphi,$$

weil $-BC = -p$;

2. oder für die brechbarſten Strahlen β'', ſo iſt

$$\beta'' = \frac{BD}{BC} p \operatorname{Tang} \varphi = BD \operatorname{Tang} \varphi.$$

Da aber $BE = BD$, wenn p und q das richtige Verhältniß haben, ſo iſt auch $\beta' = \beta''$; alſo das doppelte Objectivglas achromatiſch.

Da alle bisher geführten Rechnungen nur Näherungs-Rechnungen ſind, ſo iſt klar, daß nur eine ſehr ſtarke Verminderung der Farbenzerſtreuung möglich ſei. Eine vollkommene Achromaſie aber ſcheint (auch abgeſehen von den techniſchen Schwierigkeiten) nicht möglich zu ſein. Denn man hat gefunden, daß, wenn man auch zwei Farben, z. B. die mittlere und brechbarſte gezwungen hat, ſich zu vereinigen, dennoch die übrigen Farben dadurch nicht ſcharf vereiniget werden. Da indeſſen früher (Anm. z. §. 14.) bemerkt worden, daß unſer Auge ſelbſt nicht abſolut achromatiſch iſt, ſo iſt klar, daß ſchon eine beträchtliche Verminderung der Farbenzerſtreuung bei optiſchen Werkzeugen eine ſehr vortheilhafte Wirkung thun muß.

§. 27. Zuſatz. Nach Dollond's Verſuchen iſt das Brechungsverhältniß der mittleren Strahlen im Kronglaſe 1,55 : 1; alſo $n - 1 = 0{,}55$; beim Flintglaſe iſt dieſes Verhältniß 1,58 : 1; alſo $m - 1 = 0{,}58$. Die Farbenzerſtreuung aber verhält ſich in beiden Glasarten wie 19 : 30 (§. 21.), d. h. es verhält ſich

$$N - n : M - m = 19 : 30.$$

Hieraus folgt aber

$$p : q = \frac{19}{0{,}55} : -\frac{30}{0{,}58};$$

d. i. $p : q = 1 : -1{,}497 \ldots$

Das zweite aus Flintglas beſtehende Glas muß alſo ein Zerſtreuungsglas ſein.

So richtig dieses Resultat von Seiten der Theorie ist, so würde es doch für die Anwendung nicht zuverlässig sein, weil es sehr schwer ist, das Verhältniß der Farbenzerstreuung genau zu bestimmen, und Dollond das Verhältniß 19 : 30 nur als ungefähr richtig angiebt.

Für die wirkliche Ausführung würde übrigens noch eine etwas schwierigere Rechnung zu machen sein, nämlich die Bestimmung der vortheilhaftesten Größe der Halbmesser f, g, h, i. Man übersieht nämlich leicht aus den Formeln

$$\frac{1}{p} = \frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g}; \quad \frac{1}{q} = \frac{m-1}{h} + \frac{m-1}{i};$$

daß diese Halbmesser bei ungeänderter Brennweite auf sehr mannigfaltige Art verändert werden können. Durch eine geschickte Wahl derselben kann auch die Abweichung wegen der Kugelgestalt nach Eulers Theorie entweder ganz gehoben, oder doch sehr vermindert werden, so daß die richtig berechneten Objektivgläser dieser Art von beiden Fehlern der Abweichung beinahe ganz frei sind. Über diese Rechnung sind Euler und Klügel nachzusehen.

In der Hebung der Abweichung wegen der Gestalt liegt der Grund, warum die Objectivgläser verhältnißmäßig eine weit größere Öffnung vertragen als alle einfachen Gläser und Spiegel. Daher sind die achromatischen Fernröhre so lichtvoll. Die Größe des Gesichtsfeldes aber hängt von der geschickten Anordnung der Oculare ab.

Einundfunfzigstes Capitel.

Neuere Entdeckungen in der Optik.

§. 1. Seit ein Paar Jahrzehenden sind sehr viele feine und merkwürdige Beobachtungen und Entdeckungen über das Licht gemacht worden, welche sehr geeignet sind, sichtbar zu machen, daß die Mechanik des Lichtes wesentlich von der Mechanik aller wahrnehmbaren Körper verschieden ist. Indessen haben die dadurch veranlaßten theoretischen Untersuchungen noch nicht den-

jenigen Grad von Reife und Vollendung erlangt, deſſen ſich alle in den vorhergehenden Capiteln vorgetragenen Lehren der Optik erfreuen.

Einige dieſer Unterſuchungen betreffen Erſcheinungen, welche der Beobachtung der früheren Naturforſcher gänzlich entgangen waren; wie dieſes beſonders mit der ſogenannten Polariſation des Lichtes der Fall iſt. Auch kann man hieher die Farben feingeſtreifter Flächen rechnen.

Andere betreffen ſchon bekannte Erſcheinungen, denen man aber neue Anſichten abgewonnen hat. Dahin gehören die Unterſuchungen über die doppelte Strahlenbrechung im Kalkſpath und in andern Kryſtallen; desgleichen Frauenhofers Entdeckungen über das prismatiſche Farbenbild.

Endlich iſt es gelungen, bei einigen ſchon früher bekannten Erſcheinungen neue Geſetze zu entdecken, welche dem Scharfblick früherer Beobachter entgangen waren. Dahin gehören die zuerſt von Thomas Young entdeckten Geſetze der Farbenerſcheinungen, die ſich bei gewiſſen Verſuchen über die Beugung des Lichtes zeigen. Man hat gefunden, daß die darauf gegründete Theorie (der Interferenz) ſich auch zur Erklärung anderer Farbenerſcheinungen anwenden läßt; ja es ſind dadurch in der Theorie der Farben neue Ausſichten eröffnet worden, deren mögliche Ausdehnung ſich jetzt noch gar nicht mit Sicherheit überſehen läßt.

Es würde daher etwas Weſentliches in dieſem Lehrbuche fehlen, wenn der Verfaſſer nicht hätte verſuchen wollen, eine kurze und faßliche Darſtellung dieſer Entdeckungen zum Schluſſe deſſelben zu geben.

I. Von der doppelten Strahlenbrechung.

§. 2. Neuere Untersuchungen haben gelehrt, daß die meisten natürlichen und künstlichen Krystallisationen die Eigenschaft besitzen, jeden Strahl, der in sie eindringt, in zwei zu spalten. Schon längst kannte man diese Eigenschaft am durchsichtigen krystallisirten Kalkspath. Und da hier alle Erscheinungen am augenfälligsten sind, so wird es hinreichend sein, die Brechung des Lichtes in demselben etwas genauer zu erörtern, ob es gleich gewiß ist, daß, wo nicht alle, doch die meisten Krystallisationen ähnliche Eigenschaften besitzen.

Der Leser rufe sich zunächst dasjenige in das Gedächtniß zurück, was schon oben IX. 3. über das innere Gefüge des Kalkspathes erklärt worden; besonders, daß jeder Krystall durch drei natürliche Spaltungsflächen in beliebig kleine Rhomboeder getheilt werden könne, deren Kanten zwar nicht nothwendig gleich sind, aber jederzeit nicht nur in Gedanken, sondern selbst in der Wirklichkeit gleich gemacht werden können. Ein solches vollkommnes Rhomboeder stellt Fig. 139. vor, wo alle Ecken zu leichterer Vergleichung mit denselben Buchstaben als in der 6ten Figur bezeichnet sind, welche die innere Lage eines solchen Rhomboeders gegen die äußere Fläche einer sechsseitigen Kalkspathsäule darstellt. Wir müssen aber zu den oben (Cap. IX.) gegebenen Erklärungen hier in optischer Beziehung noch folgendes hinzufügen:

1. Da man durch einen jeden Punkt des Krystalles drei Spaltungsebenen legen kann, so muß man nicht allein die Diagonale ah, welche die beiden durch drei stumpfe Winkel bei a und h gebildeten Ecken verbindet, eine Achse nennen, sondern jede durch irgend einen Punkt parallel mit ah gezogene Linie ist für alle in ihr selbst liegende Punkte eine Achse, weil man jeden Punkt als den Scheitelpunkt eines Rhomboeders betrachten kann.
2. Man kann aber dem Kalkspath, außer seinen natürlichen Bruchflächen, auch durch die Kunst Oberflächen in beliebigen

Richtungen geben, z. B. senkrecht auf die Achse, oder parallel mit derselben, um zu beobachten, wie das Licht in solchen Flächen gebrochen wird. Wir wollen jede Fläche, welche als strahlenauffangend betrachtet wird, sie sei natürlich oder künstlich, die auffangende Ebene *) nennen. Nun kann man aber auf jede auffangende Ebene aus jedem beliebigen Punkte der Achse ein Loth fällen, und durch Achse und Loth eine Ebene legen, die also auf der auffangenden Ebene senkrecht ist. Diese Ebene, und jede ihr parallele, nennt man den der auffangenden Ebene zugehörigen Hauptschnitt.

Es wird hinreichend sein, hier diesen Begriff nur auf eine natürliche Bruchfläche anzuwenden. Betrachtet man z. B. Lichtstrahlen, die auf die Ebene eifa Fig. 139. auffallen, und denkt sich aus einem Punkte der Achse, etwa aus h, ein Loth auf diese Ebene, und legt nun eine neue Ebene durch die Achse und das Loth, so ist diese Ebene ein zu der auffangenden Ebene ef gehöriger Hauptschnitt, und man sieht ein, daß diese Ebene (wenn die Seitenflächen vollkommne Rhomben sind), durch die parallelen Kanten ag und ih, auch durch die kleinen Diagonalen ai und gh der beiden Rhomben ef und kl gehen, und die Winkel eaf, kgl halbiren wird. Die Halbirung dieser stumpfen Winkel giebt allezeit ein leichtes Mittel an die Hand, die Lage des Hauptschnittes zu beurtheilen; auch wenn die auffangende Ebene ein ungleichseitiges Rhomboid ist. Daß auch jede mit diesem Hauptschnitt parallele Ebene ein solcher ist, nämlich für Strahlen, die nicht in der Linie ai, sondern in irgend einem andern Punkte der Ebene ef auffallen, geht unmittelbar aus der Erklärung hervor.

§. 3. Daß man durch zwei parallele Gegenseiten des Rhomboeders alle Gegenstände doppelt sehe, und zwar desto entschiedener, je näher sie bei dem Krystalle sind, war schon längst bekannt; und schon im 17ten Jahr-

*) Man verwechsele die auffangende Ebene nicht mit der Einfalls- oder Brechungs-Ebene. Unter den beiden letzten Benennungen ist jederzeit eine Ebene zu verstehen, die gegen die auffangende senkrecht steht, und in welcher sich entweder der einfallende oder der gebrochne Strahl befindet.

hundert untersuchte Huygens die Gesetze dieser doppelten Brechung mit großem Scharfsinn. Er zeigte, daß jeder einfallende Strahl in dem Krystall in zwei gespalten werde, die einen kleinen Winkel mit einander machen. Der eine Theil des gebrochenen Strahles befolgt das allgemeine Brechungsgesetz (XLVII. §. 3.), indem sich der Sinus in der Luft zu dem in dem Kalkspath ziemlich genau wie 5:3 (nach Malus wie 1:1,6044871) verhält. Diesen Theil des Strahles nennt man den gewöhnlich gebrochenen, oder schlechthin den gewöhnlichen Strahl. Der andere Theil befolgt ein viel versteckteres und verwickelteres Gesetz. Man nennt ihn den ungewöhnlichen Strahl. Huygens hat dieses Gesetz sehr scharfsinnig entwickelt; aber man könnte in Versuchung gerathen, wo nicht sein Gesetz selbst, doch seine Darstellung desselben mehr für eine sinnreiche mathematische Künstelei, als für ein Naturgesetz zu halten, wenn sich nicht die Richtigkeit desselben bei allen neueren Untersuchungen vollständig zu bestätigen schiene. Auch Newton hat sich mit diesem Gegenstande beschäftigt, und ein einfacheres Gesetz für den ungewöhnlichen Strahl angegeben, welches sich aber nicht bewähret hat.

Die Gränzen eines Lehrbuches erlauben nicht eine vollständige Darlegung des Huygensschen Gesetzes. Das Einzige, was sich hier deutlich vortragen läßt, aber auch zur Erklärung aller Erscheinungen hinreicht, wenn man auf Zahlenmaaße und mathematische Bestimmtheit verzichtet, ist folgendes. Wenn ein Lichtstrahl in beliebiger Richtung in einem Punkte einer natürlichen oder künstlichen auffangenden Fläche des Kalkspaths auffällt, so nimmt der ungewöhnliche Strahl eine solche Richtung, als

würde er im Augenblicke des Durchganges, durch eine von der Achse senkrecht ausgehende Kraft aus der Richtung des gewöhnlichen Strahles ein wenig abwärts getrieben.

Noch bemerke man, daß es, wie bei der gewöhnlichen Brechung, keinen Unterschied in dem Wege des Strahles macht, ob er vorwärts oder rückwärts gehe; woraus folgt, daß, wenn ein Strahl durch zwei beliebige parallele Flächen geht, der ausfahrende Strahl, er sei ein gewöhnlicher oder ungewöhnlicher, allezeit dem einfallenden parallel sein wird.

Um dem Sinne dieses Gesetzes mehr Anschaulichkeit zu geben, betrachte man die Brechung eines Strahles, der in dem erweiterten Hauptschnitt einfällt.

In Fig. 140. sei aihg der (in Fig. 139. mit denselben Buchstaben bezeichnete) Hauptschnitt; also ah, und jede ihr parallele, eine Achse. In der (auf der Ebene der Zeichnung lothrechten) Ebene ai falle ein Lichtstrahl nm senkrecht auf ai, und die Achse des Punktes m sei mz; dann geht der gewöhnliche Strahl mo ungebrochen durch den Krystall; ein Theil des Strahles aber wird in dem Punkte m durch eine von dem Punkte m ausgehende und auf mz senkrechte Kraft von dem gewöhnlichen Strahle getrennt, und nimmt etwa die Richtung mp, und unter den hier gemachten Voraussetzungen beträgt der Winkel omp mehr als 6°; mp ist der ungewöhnliche Strahl. Ist qm der einfallende, und mr der gewöhnlich-gebrochene, so ist ms der ungewöhnliche Strahl. Ist endlich tm der einfallende Strahl, und mu der gewöhnlich-gebrochene, so ist mv der ungewöhnliche.

In allen diesen Fällen macht der ungewöhnliche Strahl mit der Achse mz einen größeren Winkel, als der gewöhnliche, weichet aber nicht aus der Ebene des Hauptschnittes, der zugleich Einfalls- und Brechungs-Ebene ist, heraus.

Aus der untern mit ai parallelen Ebene gh tritt jeder Strahl parallel mit dem einfallenden heraus, so daß also der ungewöhnliche Strahl dem zugehörigen gewöhnlichen parallel wird. Alle in der Figur angedeutete ausfahrende

Strahlen liegen also sämmtlich im Hauptschnitte, oder in der Einfalls-Ebene.

Fiele aber in m ein Lichtstrahl, der nicht in der Ebene der Zeichnung läge, sondern von der vordern oder hintern Seite derselben herkäme, so bleibt zwar der gewöhnliche Strahl in der Einfalls-Ebene, der ungewöhnliche aber wird durch die abstoßende Kraft der Achse ein wenig heraus getrieben.

Huygens sehr genaue Untersuchungen findet man in seinen Opp. reliquis, Tom. I. oder in der Franz. Übers. Traité de la lumière. Noch vollständiger, und mit Beziehung auf die neueren Beobachtungen hat Biot diesen Gegenstand behandelt in seinem größeren Werke, Essai de Physique expérimentale et mathématique, Tom. III. Chap. 4; und in seinem kleinen von Fechner unter dem Titel Lehrbuch der Exp. Physik übersetzten, Th. III. Cap. 3.

§. 4. Der Inhalt des vorigen §. ist hinreichend, die Entstehung der doppelten Bilder befriedigend zu erklären, wobei wir uns aber wieder hauptsächlich auf die Betrachtung des Hauptschnittes beschränken müssen.

Der Inhalt dieses und des vorigen §. läßt sich recht füglich durch die von dem Hrn. v. Göthe gebrauchten Wörter objectiv und subjectiv unterscheiden. Im vorigen §. wurde gezeigt, was mit dem Object (dem Strahl) in dem Rhomboeder vorgeht; in diesem soll gezeigt werden, wie das Auge eines betrachtenden Subjects die Strahlen empfängt.

Es sei also Fig. 141. PQRS der Hauptschnitt eines Rhomboeders. Unter RS befinde sich in a ein strahlender Punkt, den ein Auge über PQ durch den Krystall betrachtet; ab sei ein Strahl dieses Punktes, und bx die Achse des Punktes b. Der Strahl ab spaltet sich in dem Krystall in den gewöhnlichen Strahl bc und den ungewöhnlichen bd. Zu ihnen gehören die ausfahrenden Strahlen ce und df, die beide mit ab, also auch unter sich parallel sind. Es sei ferner g ein nahe bei a gelegener Punkt, welcher den Strahl ag empfängt. Die Achse des Punktes g sei gy, und der Strahl spalte sich in den gewöhnlichen gh, und den ungewöhnlichem gi, die bei dem Austritt über PQ, in den Richtungen hk und il, mit ag und unter sich parallel werden.

Da nun die Winkel cbd und hgi einige Grade betragen, so ist leicht einzusehen, daß, wenn die Punkte b und g hinreichend nahe sind, der gewöhnliche Strahl bc von dem ungewöhnlichen gi irgendwo zwischen b und c, z. B. in n geschnitten werde. Da aber der ausfahrende Strahl ce mit ab, und der ausfahrende il mit ag parallel ist, so müssen sich ce und il irgendwo über PQ, etwa in m schneiden. Steht nun in m ein Auge, so erblickt es den Punkt a einmal in der Richtung mc, sodann aber auch noch in der Richtung mi.

Man hat also nur auf zwei Strahlen seine Aufmerksamkeit zu richten, auf den gewöhnlichen, der von b, und auf den ungewöhnlichen, der von g ausgeht. Auch kann man eben sowohl von dem Orte des Auges m, als von dem Orte des Gegenstandes a, ausgehn.

Es sei in m Fig. 142. ein Auge, welches einen unter dem Hauptschnitte PQRS befindlichen Punkt a einmal in der lothrechten Richtung mc, und dann auch in der schiefen mi sieht. Man verlängere mc bis zu dem Punkte a, so ist klar, daß die Linie abcm einen Strahl vorstellt, der nach dem gewöhnlichen Gesetze lothrecht durch RS und PQ hindurchgeht. Vermittelst dieses Strahles sieht also das Auge den Punkt a in derjenigen Richtung, in welcher er sich wirklich befindet. Sieht nun das Auge denselben noch in der Richtung mi, so ziehe man ag parallel mit mi, und verbinde die Punkte g und i, so ist agim der ungewöhnliche zu ag gehörige Strahl, durch welchen das zweite Bild entsteht.

Aus dieser Ansicht beurtheilt man auch leicht, welchen Einfluß die Entfernung des Punktes a von der Fläche RS auf die Erscheinung habe. Ist nämlich a sehr entfernt, so wird der Winkel bag, folglich auch cmi sehr klein sein. Die Bilder rücken also näher zusammen. Daher kommt es, daß man beträchtlich entfernte Gegenstände nur einfach sieht. Am weitesten treten hingegen die Bilder aus einander, wenn sich a unmittelbar unter RS befindet.

§. 5. Auf diesen Betrachtungen beruhet die bequemste Art, die Wirkungen der doppelten Brechung zu beobachten.

Auf einer weißen und ebenen Fläche ziehe man zwei sich senkrecht in a Fig. 143. schneidende Linien PQ und RS, und um a zeichne man einen möglichst kleinen schwarzen Kreis. Auf diese Kreuzlinien lege man den Krystall EG, und zwar zuerst so, daß die Ecke F, welche durch die drei stumpfen Winkel EFG, EFS, GFS gebildet wird, dem Beobachter zugekehrt sei, und der Hauptschnitt des Rhomboeders sich über der Linie RS befinde. Diese Lage läßt sich sehr leicht ohne alle Messung, durch Beobachtung der Erscheinung selbst finden, auch dann, wenn der Krystall kein vollkommen gleichseitiges Rhomboeder ist. Bringt man nämlich das Auge zuerst ungefähr senkrecht über a, und den Krystall ungefähr in die angegebene Lage, so sieht man die Linie PQ im Krystall doppelt, und man wird leicht diejenige Stelle für das Auge finden, wo das dem Beobachter nähere Bild mit PQ eine einzige ununterbrochene Linie bildet. Dann steht das Auge in einer winkelrechten Ebene über PQ. Bewegt man es in dieser Ebene ein wenig rechts und links, so findet man bald eine Stelle, wo auch die Linie RS in und außer dem Krystall als eine einzige Linie, und zwar ganz einfach ohne Nebenbild erscheint. Ist diese Stellung gefunden, so steht das Auge hinlänglich genau senkrecht über a. Dann erblickt man den kleinen Kreis in a doppelt, einmal in a, nämlich da, wo er wirklich ist, durch die von ihm senkrecht ausgehenden gewöhnlichen Strahlen, und dann in b, durch ungewöhnlich gebrochne Strahlen. Daß die Linien PQ und RS überall unter dem Krystall hervorragen müssen, bedarf keiner Erinnerung.

Legt man den Krystall so, daß seine stumpfe Ecke über PQ auf der Seite Q liegt, so erscheint dem senkrecht über a stehenden Auge die Linie RS im Krystall doppelt, die Linie PQ aber einfach, und das ungewöhnliche Bild von a ist in d. Bringt man die stumpfe Ecke F wieder über RS, aber auf der Seite R, so erscheint wieder PQ doppelt, und RS einfach; aber das ungewöhnliche Bild von PQ und von dem Kreise a liegt nun eben so tief unter a, als bei der ersten Stellung über a. Legt man endlich den Krystall so, daß die stumpfe Ecke F wieder über PQ auf der Seite P liegt, so sieht man RS doppelt und PQ einfach,

und das ungewöhnliche Bild von RS und von a liegt nun auf der rechten Seite von RS.

Überhaupt ist leicht einzusehen, daß, wenn man den Krystall, bei ungeänderter Stellung des Auges, um den Punkt a dreht, das ungewöhnliche Bild dieses Punktes einen Kreis um das gewöhnliche Bild beschreiben wird.

Man wird folglich in jedem Falle das ungewöhnliche Bild von a leicht von dem gewöhnlichen unterscheiden können, wenn man nur das Auge lothrecht über a zu bringen weiß, welches nie Schwierigkeit hat. Ist aber in dieser Stellung das ungewöhnliche Bild gefunden, so kann man das Auge auch seitwärts bewegen, wohin man will, und die sichtbare Bewegung beider Bilder verfolgen.

§. 6. Von der Brechung des Lichtes in künstlichen Flächen bemerken wir bloß, daß, wenn die auffangende Ebene gegen die Achse entweder lothrecht, oder derselben parallel ist, ein senkrechter Strahl in beiden Fällen ungespalten, und ungebrochen hindurch geht, und auch aus der entgegengesetzten Fläche, sie sei der auffangenden parallel oder nicht, ungespalten, und nur nach dem Gesetz der gewöhnlichen Brechung hindurch gehe.

Dieses erklärt sich befriedigend aus dem im 3ten §. angegebenen Gesetze.

Ist die künstliche Fläche senkrecht auf der Achse, so fällt ein senkrechter Strahl mit der Achse selbst zusammen, und die abstoßende Kraft der Achse treibt ihn nach allen Seiten gleich stark; daher kann sich kein Theil von ihm absondern. Erreicht ein solcher Strahl eine Gegenfläche, so geht er auch durch diese bloß nach dem gewöhnlichen Gesetz der Dioptrik, weil er im Krystall gar keine Veränderung erlitten hat. Ist aber der einfallende Strahl nicht senkrecht, also auch nicht der Achse parallel, so wird er auf ähnliche Art als in einer natürlichen Fläche gespalten.

Ist die auffangende Fläche der Achse parallel, so geht ein senkrechter Strahl, auch senkrecht gegen die Achse, und die ihm gerade entgegenwirkende Kraft derselben kann wohl seine Geschwindigkeit ein wenig vermindern, aber nicht seine

Richtung ändern. Ein solcher Strahl geht durch eine Gegenfläche gerade wie im vorigen Fall. Schief auffallende Strahlen werden aber auch in diesem Falle gespalten.

Schleift man daher ein Prisma aus Kalkspath, von dessen drei Seiten eine der Achse entweder senkrecht oder parallel ist, so sieht man durch dasselbe alle die Gegenstände nur einfach, deren Licht senkrecht durch die gedachte Fläche geht, sie sei dem Gegenstande oder dem Auge zugekehrt.

Anm. Durch genauere Untersuchung hat man gefunden, daß die meisten, wo nicht alle natürliche oder künstliche Krystallisationen dieselbe Eigenschaft, nur in verschiedener Stärke, besitzen. Sie ist aber in den meisten Fällen unmerklich, entweder weil die Spaltung der Strahlen sehr gering ist, oder weil die äußern Krystallisationsflächen gegen die Achse entweder senkrecht, oder parallel sind. Biot hat ferner gefunden, daß es mehrere Mineralien (z. B. Bergkrystall) giebt, bei denen die Achse nicht eine abstoßende, sondern anziehende Kraft auszuüben scheint.

II. Polarisirung des Lichtes.

a. Allgemeiner Begriff.

§. 7. Wenn man einem gewöhnlichen Lichtstrahl eine spiegelnde oder brechende Ebene darbietet, im Einfallspunkt ein Loth errichtet, und durch dieses und den Strahl eine Ebene legt, so bleibt auch der zurückgeworfene oder gebrochene Strahl in dieser Ebene, welche wir hier die ursprüngliche Einfalls-Ebene nennen wollen (XLVI. §. 4. und XLVII. §. 3.). Bietet man einem solchen zurückgeworfenen oder gebrochenen Strahle wieder eine zweite auffangende Ebene dar, so verhält er sich in der Regel eben so, die zweite auffangende Ebene habe, welche Lage man will. Es giebt aber gewisse bestimmte Fälle, wo ein zurückgeworfener oder gebrochener Strahl sich nicht in allen Richtungen den Grundgesetzen der Katoptrik und

Dioptrik unterwirft. Legt man nämlich durch denselben außer der ursprünglichen Einfallsebene eine zweite Ebene winkelrecht auf die erste, so zeigt sich in gewissen Fällen, daß der Strahl nur in der ursprünglichen Einfallsebene nach den gewöhnlichen Gesetzen zurückgeworfen oder gebrochen werden kann; in der zweiten Ebene aber kann er entweder gar nicht, oder nicht nach den allgemeinen Grundgesetzen zurückgeworfen, oder gebrochen werden. In anderen als den beiden gedachten Ebenen aber befolgt nur ein Theil desselben das gewöhnliche, ein anderer das ungewöhnliche Gesetz.

Einen Strahl, der diese Eigenschaft zeigt, nennt man einen polarisirten Strahl, und die beiden gedachten sich winkelrecht schneidenden Ebenen wollen wir die beiden Polarisirungs-Ebenen nennen; und zwar soll die ursprüngliche Einfallsebene die erste, die auf ihr winkelrechte aber die zweite Polarisirungs-Ebene heißen.

Die Polarisirung des Lichtes, welche zu den feinsten optischen Beobachtungen, und zwar zu den neusten Erweiterungen der Wissenschaft gehört, verdanken wir dem Beobachtungsgeiste eines vor einigen Jahren verstorbenen Französischen Naturforschers Malus. Denn obgleich schon im 17ten Jahrhundert Huygens bei seinen scharfsinnigen Untersuchungen über die optischen Eigenschaften des sogenannten Isländischen Doppelspathes, eine hieher gehörige Beobachtung gemacht hat, wie wir in der Folge (§. 12.) sehen werden, so stand doch diese ganz einzeln. Malus hingegen hat diese Beobachtungen viel weiter verfolgt, und eine Menge von verschiedenen Erscheinungen unter einem gemeinsamen Gesichtspunkt vereinigt. Selbst das ist kein kleines Verdienst, daß er die Grundidee dieser Erscheinungen durch ein eigenes Kunstwort, Polarisirung, fixirt hat, wenn man auch zweifeln kann, ob dieses Wort in etymologischer Rücksicht glücklich gewählt sei.

b. Geräthschaften zu den Versuchen.

§. 8. Die Feinheit der Beobachtungen erfodert eigenthümliche Geräthschaften. Wir wollen deren kürzlich zwei nach ihren wesentlichen Theilen beschreiben.

1. Biot's Geräthschaft. In Fig. 144. ist AD eine messingene inwendig geschwärzte, an beiden Seiten (AB und CD) offene Röhre. In ihrer Mitte bei N ist sie an einem (nicht gezeichneten) Gestell so befestigt, daß man ihre Richtung vertical und horizontal beliebig verändern kann. Ihr Durchmesser kann $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll, die Länge 6 bis 8 Zoll betragen. An dem untern Ende dieser Röhre AB sind zu beiden Seiten einander gegenüber zwei viereckige metallene Stäbchen FE befestigt, zwischen deren Enden ein kleiner Tusch-Spiegel GH so eingeklemmt ist, daß man seine Neigung gegen die Achse des Rohres beliebig verändern kann. Die ungeschwärzte Oberfläche wendet der Spiegel gegen die Röhre, und um seine Neigung gegen die Achse messen zu können, ist an einem der Stäbe EF ein (nicht gezeichneter) Quadrant angebracht, auch eine Einrichtung getroffen, daß man den Spiegel in jeder Lage feststellen kann. An der oberen Öffnung ist bei CD eine Vorrichtung befestigt, die der bei der unteren Öffnung in allen Stücken völlig gleich ist, mit dem einzigen Unterschiede, daß die beiden Stäbchen IK, welche den Tusch-Spiegel LM tragen, nicht an der Röhre selbst, sondern an einem etwas breiten bei C und D angedeuteten Ringe, welcher die Röhre umgiebt, befestigt sind, so daß man vermittelst desselben die ganze Vorrichtung rings um die Röhre herum drehen kann. Außerdem muß man noch einige runde Deckel haben, die sich in die obere oder untere Öffnung der Röhre einsetzen, und in derselben umdrehen

lassen. Jeder hat in der Mitte eine runde Öffnung, die kleinste von kaum 0,01 Zoll Durchmesser, die übrigen von größeren aber verschiedenen, um durchsichtige Körper die man dem polarisirten Lichte aussetzen will, mit Wachs oder auf andere Art daran zu befestigen.

Die Linie FEIK, welche mitten durch das Rohr geht, und die Mitte der beiden Spiegel verbindet, wollen wir die Achse des Instrumentes nennen.

2. Seebeck's Geräthschaft. AB und AC Fig. 145. sind zwei Bretter von gutem trockenem Holz, deren Winkel BAC man, wie bei einem Planum inclinatum verändern, und bei jeder Neigung des oberen Brettes durch eine einfache leicht zu erdenkende Vorrichtung fest stellen kann. Ihre Länge kann gegen 3 Fuß, die Breite ungefähr 1 Fuß betragen, doch kann man auch mit kleineren Abmessungen ausreichen. An den beiden schmalen Kanten des oberen Brettes sind zwei andere Brettchen AG und CM winkelrecht eingefugt. Sie können gleiche Breite mit den ersteren haben, ihre Höhe aber muß etwa um den sechsten Theil größer als die Breite sein. Diese beiden Bretter AG und CM sind bestimmt die beiden Tusch-Spiegel GH und LM zu tragen. Diesen Spiegeln kann man ungefähr die quadratische Gestalt, und auch die Größe eines Quadratfußes geben. Da aber der untere Spiegel GH bei den wichtigsten Versuchen immer nur in einer unveränderlichen Lage gebraucht wird, so ist er nicht wie an dem Biotschen Instrument beweglich. Er muß nämlich eine solche Lage haben, daß er mit der Linie FK (welche die Mitten der Spiegel verbindet, und mit AC parallel sein muß) einen Winkel von 35° 25′ macht. Diese Linie FK nennen wir auch hier die Achse des Instruments. Man

sieht leicht, daß die Befestigung dieses Spiegels, durch ein einziges bei X rechtwinkliges Dreieck Xgh von Holz, bewerkstelligt werden kann, wenn man dem Winkel bei h die eben angedeutete Größe giebt. Auch der Spiegel LM muß dieselbe Neigung gegen die Achse FK unverändert haben. Daher kann auch er durch ein untergesetztes hölzernes Dreieck Vlm seine richtige Lage erhalten. Nur muß er sich bei unveränderter Neigung gegen die Achse, um dieselbe drehen lassen. Daher muß er nicht unmittelbar an dem Brett CM befestigt sein, sondern das hölzerne Dreieck Vlm muß in der Verlängerung der Achse FK einen runden Zapfen W haben, der durch das Brett CM hindurch geht, und von außen umgedreht werden kann. Der Durchmesser des Zapfens kann $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll sein. Auf der äußern Seite des Brettes CM ist um den Mittelpunkt dieses Zapfens ein Kreis gezeichnet, und in Grade getheilt; der Zapfen selbst aber trägt einen Zeiger, um dem Spiegel jede bestimmte Lage geben zu können. Auch muß die Befestigung dieses Spiegels so eingerichtet sein, daß man ihn sammt dem Zapfen leicht wegnehmen kann.

In der Mitte des Brettes AC ist noch ein Brett, oder vielmehr ein bloßer Rahmen RO aufgestellt, der bei den meisten Versuchen mit den Brettern AG und CM parallel, also auf der Achse senkrecht stehen muß. Es ist aber bei dieser Geräthschaft wesentlich, daß man der Fläche dieses Rahmens jede beliebige Lage gegen die Achse FK geben, und sie in derselben erhalten könne. Man kann daher den Rahmen bloß vermittelst eines runden Zapfens Z in dem Brett befestigen, so daß er sich um den Zapfen drehen läßt. Auch kann man ihm bei R ein Gewinde geben, so daß sich seine Neigung

gegen das Brett AC verändern läßt. Auch kann man durch einen oder ein Paar eingetheilte Quadranten die Einrichtung treffen, daß sich die Lage des Rahmens gegen die Achse durch zwei Winkel beiläufig bestimmen läßt.

In der Öffnung dieses Rahmens müssen diejenigen Körper befestiget werden, durch welche man polarisirtes Licht leiten will. Zu dem Ende muß man sich mehrere kleinere Bretter machen lassen, die genau in die Öffnung des Rahmens passen. Jedes solches Brett hat in der Mitte da, wo die Achse FK durchgeht, ein rundes größeres oder kleineres Loch TU, in welches wieder kleinere Einsätze von Holz oder Pappe gemacht werden können, um die zu beobachtenden Körper zu tragen. Wäre auch die Beschreibung solcher kleinen Vorrichtungen für unsern Zweck nicht zu weitläuftig, so würde sie schon deswegen wegfallen müssen, weil ihre Einrichtung sehr abhängig ist, von der zufälligen Gestalt der Körper, die man untersuchen will. Wir können daher die Einrichtung derselben unbedenklich dem Erfindungsgeiste des Beobachters überlassen.

Die Biotsche Geräthschaft hat hauptsächlich den Vorzug, daß man beiden Spiegeln jede beliebige Lage geben kann. Die Seebeckschen aber erhält durch die Beweglichkeit des Rahmens und durch die Größe der Spiegel einen Vorzug, wodurch manche Erscheinungen des polarisirten Lichtes im weit größeren Umfange wahrgenommen werden können. Es würde auch keine wesentliche Schwierigkeit haben, den Spiegeln eine veränderliche Neigung zu geben. Da indessen durch die Reflexion von Glas nur solche Strahlen vollkommen polarisirt werden, welche nach Malus Bestimmung unter einem Winkel von 35° 25′ auffallen, so wird der Bau des Instrumentes einfacher, dauerhafter, sicherer und wohlfeiler, wenn man die Spiegel in der angegebenen Lage befestiget.

Da leider von den interessanten Seebeckischen Beobachtungen nur erst Einiges bekannt geworden ist, und die gegenwärtigen Gesundheits-Umstände dieses trefflichen Beobachters auch keine nahe Aussicht der Bekanntmachung des Rückständigen eröffnen, so hofft der Verfasser, daß die kurze Beschreibung seiner Geräthschaft, die er hier mit Einwilligung des Erfindens bekannt macht, den Liebhabern optischer Versuche angenehm sein werde.

Anm. Belegte, und Metall-Spiegel sind zu diesen Geräthschaften nicht brauchbar. Denn wegen der Stärke ihres zurückstrahlenden Lichtes können die feinen Verschiedenheiten, in welchen sich die Polarisirung offenbart, nicht sichtbar werden. Belegte Glasspiegel aber sind auch wegen ihrer doppelten Spiegelung unbrauchbar. Sollen die Erscheinungen deutlich und unzweideutig hervortreten, so muß die untere Fläche gar nicht spiegeln. Zu kleinen Spiegeln kann man mit Vortheil Obsidion, oder auch ein undurchsichtiges schwarzes Glas brauchen. Bei dem Seebeckischen Instrument muß man die untere Fläche der Spiegel mit schwarzem Pech überziehen, auch wohl diese Fläche vorher ihrer Politur berauben. Bei dem oberen Spiegel ist die Einrichtung zu treffen, daß man ihn leicht aus seinem Rahmen heraus nehmen, und statt seiner ein bloßes Spiegelglas einsetzen kann.

§. 9. Ehe wir die Erscheinungen der Polarisation und die Hauptversuche erklären, ist es nöthig, noch einige geometrische und optische Erörterungen über die beschriebenen Geräthschaften beizufügen.

Man nehme an, daß in beiden Geräthschaften (Fig. 144. und 145.) die beiden Spiegel gegen die Achse FK unter einem Winkel von 35° 25′ geneigt sein; so ist klar, daß diese Neigung unverändert bleibt, wenn man den obern Spiegel LM um die Achse FK rund herum drehet. Denkt man sich nun in F ein Loth FS auf den untern Spiegel, so ist klar, daß eine durch FS und FK gelegte Ebene auf dem unteren Spiegel GH winkelrecht steht. Diese Ebene ist die erste Polarisations-Ebene (§. 7.). Legt man ferner durch die Achse FK eine zweite Ebene winkelrecht auf der ersten (also

in der Seebeck'ischen Geräthschaft, dem Brette AC parallel), so ist diese, die zweite Polarisations-Ebene.

Diese Begriffe sind bloß durch den untern Spiegel bestimmt, dessen Lage man sich daher, so wie beide Figuren sie vorstellen, als unverändert denken muß.

Was nun aber den oberen beweglichen Spiegel LM betrifft, so kann derselbe in Beziehung auf die beiden Polarisations-Ebenen vier Hauptlagen haben.

Die erste Hauptlage ist die Fig. 144. vorgestellte, wo beide Spiegel parallel liegen, also der obere seine spiegelnde Fläche abwärts kehrt. In dieser Lage steht die erste Polarisations-Fläche auch auf ihm winkelrecht.

Die zweite Hauptlage entsteht, wenn man den obern Spiegel LM um 90° so drehet, daß er nun seine Spiegelfläche dem Auge dessen, der die Figur betrachtet, zuwendet. In diesem Falle steht die zweite Polarisations-Fläche auf dem obern Spiegel winkelrecht.

Die dritte Hauptlage ist die in Fig. 145. angedeutete, welche erhalten wird, wenn man den obern Spiegel noch um 90° weiter dreht. In dieser Lage steht, wie in der ersten, die erste Polarisations-Fläche wieder auf dem obern Spiegel lothrecht.

Die vierte Hauptlage endlich ist diejenige, die man erhält, wenn der obere Spiegel zum dritten Mal um 90° gedrehet wird, so daß er nun seine Spiegelfläche von dem Beschauer abwendet. Man sieht leicht ein, daß nun, wie in der zweiten Lage, die zweite Polarisations-Fläche auf dem obern Spiegel lothrecht ist.

Diese vier Hauptlagen des obern Spiegels sind es, in welchen die Haupt-Erscheinungen der Polarisation zum Vorschein kommen; und zwar werden wir sehen, daß sie sich in der 1sten und 3ten Hauptlage auf ganz gleiche Art offenbaren; und eben so in der 2ten und 4ten; doch in dieser in einem gewissen Gegensatze gegen die zuerst genannten. Es muß aber das auf den untern Spiegel einfallende Licht auch eine bestimmte Richtung gegen denselben haben; worüber vorläufig folgendes zu bemerken ist.

Man ziehe in beiden Figuren (also bei der 1sten und 3ten Lage) die Linien FP, KQ so, daß die Winkel PFG, KFH, desgleichen QKM, FKL gleich (also jeder 35° 25′) werden,

so ist klar, daß, wenn PF ein auf die Mitte des unteren (festen) Spiegels einfallenden Strahl ist, FK der von dem ersten Spiegel zurückgeworfene, und KQ der vom oberen (beweglichen) zurückgeworfene sein wird. Befindet sich nun in der verlängerten FP irgendwo ein strahlender Punkt, so würde man sein Bild im zweiten Spiegel in der Richtung KQ aufsuchen müssen. In der 1sten Lage (Fig. 144.) ist es also von unten her, in der 3ten (Fig. 145.) von oben her aufzusuchen. Bringt man aber den obern Spiegel in die 2te Lage, so muß der Beobachter das Bild von vorne her, in der 4ten von hinten her aufsuchen. Und wenn alle Theile der Geräthschaft hinlänglich genau die angegebene Lage haben, so wird man dem Auge eine solche Lage geben müssen, daß man das Bild in der Mitte des obern Spiegels erblickt. Denn wählt man einen solchen Standpunkt für das Auge, daß es das Bild merklich außer der Mitte des Spiegels sieht, so sieht man leicht ein, daß die Strahlen PF, FK, KQ beträchtlich von der angegebenen Lage abweichen können. Doch ist eine geringe Abweichung nicht von erheblichem Erfolge.

c. Polarisirung durch Zurückstrahlung.

§. 10. Vermittelst einer so eingerichteten und nach den gegebenen Vorschriften gestellten Geräthschaft lassen sich nun die Haupterscheinungen der Polarisirung durch Reflexion, auf folgende Art sichtbar machen.

Bei dem Biotschen Instrument, setze man in die eine Öffnung der Röhre einen Deckel, der ein kleines Loch in der Mitte hat; bei dem Seebeckschen eine Platte mit einem kleinen Loche, da wo die Achse durchgeht. Dann bringe man das Instrument so gegen ein Fenster, daß ein Theil des Tageslichtes ungefähr unter einem Winkel von 35° auf den untern Spiegel fallen kann. Stellt man nun den obern Spiegel in die 1ste oder 3te Lage, und sucht in der Mitte desselben das Bild des kleinen Loches auf, so erblickt man dasselbe deutlich,

wenn gleich, wegen der doppelten Spiegelung von einer bloßen Glasfläche, in geschwächtem Lichte. Bringt man aber den obern Spiegel in die 2te oder 4te Lage, so ist das Bild des Loches desto dunkler, je kleiner das Loch ist. Rückt man den obern Spiegel allmählig aus der 1sten oder 3ten Stellung in die 2te oder 4te, so sieht man deutlich, wie die Lichtstärke des Bildes abnimmt, und in der 2ten oder 4ten Lage ganz verschwindet, wenn das Loch sehr klein ist. Auch bei Flammenlicht läßt sich der Versuch machen; doch verschwindet das Bild nie gänzlich, sondern wird nur dunkler.

Aus diesem einfachen Versuche folgt augenscheinlich, daß ein Lichtstrahl, der auf eine Glasfläche unter einem Winkel von ungefähr 35° aufgenommen und zurückgeworfen wird, zwar in der ersten Polarisations-Fläche aufwärts und abwärts vollständig reflektirt werden könne, in der zweiten aber gar nicht, und in den Zwischenlagen desto unvollständiger, je mehr sich der zum zweitenmal zurückgeworfene Strahl der zweiten Polarisations-Fläche nähert. Diese sonderbare Eigenschaft des Strahles FK ist es nun, was man die Polarisation desselben nennt. Er bekommt dadurch gleichsam vier Seiten, in zwei entgegengesetzten kann er regelmäßig reflektirt werden, in den beiden andern entgegengesetzten nicht.

Hat man das Instrument so gestellt, daß das offene Tageslicht von einem Fenster auf den untern Spiegel fällt, und sieht man das Bild des Loches gerade in der Mitte des obern Spiegels, so ist leicht einzusehen, daß das Auge nur solche Strahlen erhalten kann, die auf den untern Spiegel ungefähr unter einem Winkel von 35° einfallen. Macht man den Versuch bei einer Lichtflamme, so hindert die Lebhaftigkeit ihres Lichtes das gänzliche Verschwinden des Bildes.

Mit dem Biotschen Instrumente kann man sich überzeugen, daß die Wirkung der Polarisirung, zwar bei andern Einfalls-Winkeln nicht ganz fehlt, aber desto unmerklicher wird, je mehr sich der Einfalls-Winkel von der angegebenen Größe entfernt.

§. 11. Nicht nur durch die Zurückwerfung von Glas, sondern auch von jeder andern spiegelnden Fläche werden die Strahlen polarisirt. Nur ist der Einfalls-Winkel, unter welchem die größte Wirkung erfolgt, jedes Mal nach der Verschiedenheit des zurückwerfenden Stoffes verschieden. Bei dem Wasser fand z. B. Malus, daß diejenigen Strahlen am vollständigsten polarisirt werden, die unter einem Winkel von 37° 15′ einfallen.

d. Polarisation durch Brechung.

§. 12. Die Polarisation durch Brechung wurde eigentlich schon im 17ten Jahrhundert von Huygens bei Gelegenheit seiner Untersuchungen über die doppelte Brechung im Kalkspath beobachtet. Aber die Erscheinung schien eine ganz einzelne Sonderbarkeit des im Kalkspath gebrochenen Lichtes zu sein.

Huygens ließ Lichtstrahlen durch zwei Rhomboeder gehen, und fand, daß die gespaltenen Strahlen nicht unter allen Umständen im zweiten Rhomboeder wieder gespalten wurden. Sie spalteten sich nicht, wenn die Hauptschnitte beider entweder parallel, oder winkelrecht gegen einander lagen. Waren sie parallel, so wurde der gewöhnliche Strahl auch im zweiten Krystall gewöhnlich, der ungewöhnliche aber nach dem ungewöhnlichen Gesetz gebrochen. Lagen aber die Hauptschnitte winkelrecht gegen einander, so wurde der gewöhnliche Strahl im zweiten Krystall ungewöhnlich, der ungewöhnliche

aber gewöhnlich gebrochen. In allen übrigen Fällen spaltete sich sowohl der gewöhnliche als ungewöhnliche Strahl mehr oder minder, wenn er in das zweite Rhomboeder eindrang. Auch Newton kannte diese Erscheinung, und zog daraus den merkwürdigen Schluß: man müßte einem solchen Lichtstrahl verschiedene Seiten beilegen, in denen er verschiedene Eigenschaften besäße.

Die einfachste Art der Beobachtung ist folgende: Man lege auf das Rhomboeder EFGH Fig. 143. ein zweites, und beobachte, wie sich bei verschiedenen Lagen des oberen Krystalles die Bilder der Linien PQ und RS, und besonders das Bild des Punktes a im obern Krystall zeigen. Um uns aber über die Lagen der Krystalle kurz und deutlich ausdrücken zu können, wollen wir diejenige obere Ecke eines Rhomboeders, welche durch drei stumpfe Winkel gebildet wird, schlechthin die stumpfe Ecke nennen, und bemerken, daß der untere Krystall bei der ganzen Beobachtung seine in Fig. 143. angedeutete Lage unverändert behält, wo seine stumpfe Ecke F über die Linie RS, in der Zeichnung abwärts von a, also sein Hauptschnitt senkrecht über RS sich erhebt.

1. Legt man nun den zweiten Krystall eben so, nämlich, daß seine stumpfe Ecke über F, und sein Hauptschnitt über RS zu liegen kommt, so zeigt sich, wie bei einem einzigen Rhomboeder (§. 5.) das gewöhnliche Bild von a senkrecht über a, und das ungewöhnliche Bild oberhalb a, nur weiter gegen H hingerückt. Wie weit es gegen H hinreicht, hängt von der Dicke des obern Krystalles ab. Man sieht also deutlich, daß in diesem Falle die gewöhnlichen Strahlen gewöhnlich, und die ungewöhnlichen ungewöhnlich, aber beide Arten nur einfach gebrochen werden.

2. Man drehe nun den oberen Krystall so, daß sein stumpfer Winkel über H, der Hauptschnitt aber wieder über RS zu liegen kommt. Dann erblickt man das gewöhnliche Bild von a, wie vorher, senkrecht über a; das ungewöhnliche Bild aber, welches immer von der stumpfen Ecke abwärts gekehrt ist, fällt nunmehr beinahe mit dem gewöhnlichen Bilde zusammen, da bei der angegebenen Lage des

oberen Krystalles das ungewöhnliche Bild nach der Seite S hin gerückt wird. Es werden also auch in dieser Lage die gewöhnlichen Strahlen gewöhnlich, die ungewöhnlichen ungewöhnlich, aber nur einfach gebrochen.

3. Legt man ferner den obern Krystall so, daß seine stumpfe Ecke über G und sein Hauptschnitt über QP, also winkelrecht gegen den Hauptschnitt des unteren Krystalles zu liegen kommt, so bleibt zwar das gewöhnliche Bild von a in dem Hauptschnitt des obern Krystalles auf der Linie PQ, rückt aber nach dem Gesetze der ungewöhnlichen Brechung nach d. Das ungewöhnliche Bild aber, welches der untere Krystall nach b gerückt hatte, bleibt nun nach dem Gesetz der gewöhnlichen Brechung in der Einfallsebene, d. h. in der über RS winkelrechten Ebene, und geht, da es senkrecht aus dem untern Krystall hervortritt, auch nach dem gewöhnlichen Gesetze ungebrochen hindurch, und erscheint in b.

4. Bringt man aber die stumpfe Ecke des obern Krystalles über E, so ist alles wie bei Nr. 3; nur wird das gewöhnliche Bild von a nicht nach der Seite P, sondern nach Q hin verrückt. Es ist also klar, daß in dem dritten und vierten Fall die gewöhnlichen Strahlen ungewöhnlich, die ungewöhnlichen aber gewöhnlich, beide aber einfach gebrochen werden.

5. Legt man endlich den obern Krystall so, daß die Hauptschnitte einen beliebigen schiefen Winkel gegen einander machen, so erblickt man vier Bilder, so daß also nun sowohl der gewöhnliche als ungewöhnliche Strahl gespalten wird. Dreht man den obern Krystall allmählich herum, so sieht man deutlich, wie die gewöhnlichen Bilder allmählig in ungewöhnliche, und umgekehrt, übergehen. Machen die beiden Hauptschnitte einen Winkel von 45°, so sind die vier Bilder am deutlichsten.

Anm. Um den Weg jedes Strahles in dem obern Krystall richtig zu beurtheilen, muß man nicht übersehen, daß, wenn gleich beide Krystalle unmittelbar auf einander liegen, dennoch nur in sehr wenig Punkten eine vollkommene Berührung statt findet. Daher geht auch kein Strahl unmittelbar in den oberen Krystall über, sondern er muß, ehe er denselben erreicht, allezeit eine dünne Luftschicht durch-

laufen, in welcher er (wie in Fig. 141. und 142. im 4ten §. gezeigt worden) wieder der Richtung parallel wird, die er vor dem Eintritt in den untern Krystall hatte.

§. 13. Aus diesen Versuchen geht unzweideutig hervor, daß beide Theile des gespaltenen Strahles, der gewöhnliche sowohl als der ungewöhnliche, polarisirt sind, aber auf gerade entgegengesetzte Art: indem bei der 3ten und 4ten Lage des oberen Krystalles, der ungewöhnliche Strahl des untern Krystalles sich in einen gewöhnlichen, und der gewöhnliche in einen ungewöhnlichen verwandelt.

Man beachte nun die Lagen des Hauptschnittes in den vier zuerst erörterten Fällen. Unter den gemachten Voraussetzungen geschehen vermöge des Gesetzes in §. 3. alle Brechungen in den Hauptschnitten. In dem untern Krystall ist daher der Hauptschnitt, sowohl für die unten eintretenden, als oben austretenden Strahlen, die Einfalls-Ebene oder (so fern Polarisirung untersucht werden soll) die erste Polarisations-Ebene. In dieser wird er in Nr. 1. und 2. des vorigen §. nach demselben Gesetz in der oberen Fläche gebrochen, als er in der untern eingetreten war. Und da die Hauptschnitte parallel sind, oder vielmehr zusammen fallen, so muß auch im obern Krystall das nämliche geschehen. Im 3ten und 4ten Fall hingegen, hat der Hauptschnitt des obern Krystalles die Lage einer zweiten Polarisations-Ebene, für beide aus dem untern Krystall kommenden Strahlen, und in dieser kann keiner wieder nach demselben Gesetz gebrochen werden, dem er im untern Krystall folgte.

§. 14. Die Einerleiheit dieser Polarisation mit der durch Zurückstrahlung erhaltenen läßt sich vermittelst der oben §. 8. beschriebenen Geräthschaft außer Zweifel setzen, und zeigen, daß der durch den untern Spiegel polarisirte Strahl genau in eben der Art polarisirt ist, als im vorigen Versuche der gewöhnliche Strahl polarisirt war. Läßt man nämlich einen durch

den unteren Spiegel polarisirten Strahl, auf eine Fläche des Kalkspath-Rhomboeders fallen, und giebt dem Krystall eine solche Lage, daß derjenige Hauptschnitt, welcher sich auf diese Fläche bezieht (§. 2.), mit der ersten Polarisirungs-Ebene (§. 9.) zusammen fällt, so spaltet sich das Licht nicht im Krystall, so wie sich im vorigen §. bei Nr. 1. und 2. weder der gewöhnliche noch der ungewöhnliche Strahl spaltete, sondern der Strahl, der auf dieselbe Art, wie dort der gewöhnliche, polarisirt ist, geht, wie dort, nach dem gewöhnlichen Brechungsgesetz hindurch. Giebt man aber dem Krystalle eine solche Lage, daß sein Hauptschnitt mit der zweiten Polarisirungs-Ebene des untern Spiegels zusammenfällt, so spaltet sich der in den Krystall eingehende Strahl zwar auch nicht, nimmt aber nun im Krystall den Weg der ungewöhnlichen Brechung, und tritt dann mit dem einfallenden Strahle parallel aus dem Krystall hervor. Bei jeder andern Lage des Hauptschnittes aber spaltet er sich wie im vorigen §. in zweie.

Dieses alles läßt sich vermittelst der Seebeckschen Geräthschaft sehr anschaulich machen. Zu dem Ende nehme man den obern Spiegel LM Fig. 145. mit seinem Zubehör ganz weg, so daß man durch die Öffnung des Zapfens VV gerade hinein gegen den untern Spiegel sehen kann. Dann lege man in den Rahmen RO ein Brett mit einem sehr kleinen runden Loch, und befestige auf der obern Seite des Brettes ein etwas dickes Rhomboeder mit einer seiner Seitenflächen. Diese Seitenfläche ist nunmehr diejenige, auf welche das Licht durch das kleine Loch einfallen soll, und da der Hauptschnitt allezeit auf der Einfallsfläche winkelrecht, ist, so ist er es auch auf der Ebene des Brettes. Wer daher die Begriffe des Hauptschnittes (§. 2.), und der ersten und zweiten Polarisationsebene des untern Spiegels gefaßt hat, wird leicht im Stande sein, dem Hauptschnitt gegen die beiden Polarisations-Ebenen jede Lage zu geben.

1. Befestigt man nun das Rhomboeder so, daß der Hauptschnitt mit der ersten Polarisations-Fläche zusammen fällt, und sieht durch das Loch bei W gegen denselben, so erblickt man, bei nicht zu geringer Größe des kleinen Loches bei I, ein doppeltes Bild des Loches; aber nur das eine ist hell und deutlich, das andere sehr dunkel, und macht man das Loch sehr klein, so bleibt nur Ein Bild sichtbar. Befindet sich die stumpfe Ecke des Krystalles über I, so zeigt sich das dunkle Bild unter dem hellen; ist aber die stumpfe Ecke unter I, so liegen sie umgekehrt. Man bemerke noch, daß in beiden Lagen des Krystalles das helle Bild genau in der Richtung gesehen wird, in der es wirklich liegt, wovon man sich durch ein Paar Kreuzlinien überzeugen kann, die man auf demjenigen Brette, an welchem der Krystall befestigt worden ist, durch die Mitte des Loches bei I zeichnet.

2. Nun gebe man dem Krystall eine solche Lage, daß sein Hauptschnitt mit der zweiten Polarisations-Ebene zusammenfällt. Dann sieht man wieder ein helles und ein dunkles Bild, aber nicht über, sondern neben einander, und das helle liegt auch hier immer auf der Seite der stumpfen Ecke. Untersucht man die Lage des hellen Bildes, so findet man es nicht mehr genau in der Richtung des Loches, sondern etwas näher nach derjenigen Seite hin, wo die stumpfe Ecke ist.

3. Dreht man den Krystall stätig aus der zuerst angegebenen Lage um die Achse des Instruments, so sieht man stätig zwei Bilder, von denen aber das helle immer dunkler, das dunkle immer heller wird, bis in der zweiten Polarisations-Ebene das zuerst helle Bild ganz dunkel, das zuerst dunkle ganz hell geworden ist. Fährt man fort zu drehen, so wechseln die Bilder ihr Licht wieder auf entgegengesetzte Art; und dieser Wechsel wiederholt sich, so oft man den Krystall um einen Quadranten dreht.

Bei den Versuchen Nr. 1. erscheint das helle Bild nach den Gesetzen der gewöhnlichen Brechung, denn man sieht das Loch in seiner wahren Richtung. Das dunkle Bild entsteht also durch ungewöhnliche Brechung. Dreht man den Krystall allmählig so, daß sich sein Hauptschnitt der zweiten Polarisations-Ebene nähert, so ist klar,

daß die gewöhnliche Brechung immer schwächer, die ungewöhnliche aber immer lebhafter wird, und so begreift man, daß nun das helle Bild durch ungewöhnliche, das dunkle durch gewöhnliche Brechung entsteht, u. s. w.

Die vollkommene Übereinstimmung dieser Erscheinungen mit der in den vorigen beiden §§. beschriebenen sieht man deutlich ein, wenn man erwägt, daß der Unterschied beider Beobachtungsarten lediglich in folgendem besteht. In §. 12. und 13. hatten wir im Krystall zwei gleich starke Strahlen, die beide polarisirt waren, aber auf entgegengesetzte Art, d. h. was für den einen Strahl die erste Polarisations-Fläche war, ist für den andern die zweite, und umgekehrt. Hier aber kommt nur ein einziger schon polarisirter Strahl in den Krystall, und dieser liegt bei der zuerst beschriebenen Lage des Krystalls in der ersten Polarisationsfläche, wo er gewöhnlich durchgeht; dreht man den Krystall um einen Quadranten, so liegt der Strahl in der zweiten Polarisationsfläche, wo er nur ungewöhnlich gebrochen werden kann, u. s. w. Alles gerade so, wie in §. 12. und 13; wenn man seine Aufmerksamkeit nur auf den Strahl richtet, der sich in der ersten Lage (§. 12. Nr. 1.) durch gewöhnliche Brechung polarisirt hat.

Anm. Läßt man den Krystall unverändert in seiner zuerst (Nr. 1.) beschriebenen Lage, und setzt den oberen Spiegel wieder ein, so erhält man, wie leicht einzusehen, durch Umdrehung des Spiegels denselben Wechsel der Erscheinungen. Befestigt man aber den Krystall so, daß sein Hauptschnitt in der zweiten Polarisationsfläche liegt, so hat man im obern Spiegel wieder denselben Wechsel der Erscheinungen, nur in entgegengesetztem Sinne.

Man kann auch vor dem Krystalle ein durchsichtiges Blättchen von Glimmer (russischem Glas) oder von krystallisirtem Gyps (Fraueneis) senkrecht gegen die Achse des Instruments halten, und dann herum drehen, so zeigt sich, daß bei gewissen Lagen dieses Blättchens die Polarisation in die entgegengesetzte übergeht. Hieraus folgt, daß auch diese Mineralien das durchgehende Licht polarisiren, wenn es auch sonst nicht wie bei dem Kalkspath durch Verdoppelung der Gegenstände sichtbar wird.

e. Farben durch Polarisirung.

§. 15. Wenn man vor einer nicht zu kleinen Öffnung an den Rahmen der Seebeckschen Geräthschaft ein sehr dünnes Blättchen, von Glimmer, Frauneis ꝛc. befestigt, und sein Bild in dem oberen Spiegel bei der in der Figur (145.) angedeuteten Stellung betrachtet, so erscheint es oft mit lebhaften Farben, oft auch ungefärbt. Dreht man aber im letzten Falle den Rahmen, ändert auch wohl seine Neigung gegen das Brett (AC), so findet man allezeit eine Lage, in welcher sich desto lebhaftere Farben zeigen, je dünner das Blättchen ist. Fixirt man es in dieser Lage, dreht aber den oberen Spiegel um einen Quadranten, also in die 2te oder 4te Lage, so erscheint das Blättchen wieder gefärbt, aber gerade mit den entgegengesetzten Farben; welches auf ein Polaritäts-Verhältniß deutet.

1. In der 3ten oder 1sten Lage des obern Spiegels werden nämlich nur gewisse farbige Bestandtheile des Lichtes, an einer Stelle z. B. die grünen, reflektirt, die anderen (rothen) dringen in das Glas. Dreht man aber den Spiegel um einen Quadranten, so werden umgekehrt die rothen reflektirt, und die grünen gehen durch.
2. Auch durch dickere Stücke durchsichtigen Krystalls kann man sehr merkwürdige Farbenerscheinungen erhalten. Wenn man aus Kalkspath ein Stück mit parallelen Gegenflächen so ausschneidet, daß die Achse auf beiden Flächen lothrecht ist, und man befestigt dasselbe am Rahmen, so erblickt man bei der 3ten oder 1sten Stellung des Spiegels mehrere concentrische Farbenringe, in denen sich die Farben wiederholen. Von der Mitte aus sind sie durch ein farbenloses helles Kreuz durchschnitten, dessen Arme den beiden Polarisations-Ebenen parallel liegen. Giebt man dem obern Spiegel die 2te oder 4te Lage, so ist das Kreuz dunkel, und die Farben der Ringe sind die entgegengesetzten.

3. Schon aus dem Gesagten geht hervor, daß diese Farben-Erscheinungen eine bestimmte Beziehung auf das innere Gefüge, besonders auf die Achsen der Krystalle haben, worüber Brewster und Seebeck viele lehrreiche Beobachtungen gemacht haben. Schade nur, daß uns die deutschen Zeitschriften nur dürftige Kunde davon geben. Die Mineralogie trat seit Hauy mit der Geometrie, jetzt tritt sie auch mit der Optik in eine unerwartete Verbindung.

§. 16. Andere nicht weniger merkwürdige Farben-Erscheinungen zeigen sich, wenn man polarisirtes Licht durch etwas starkes, schnell gekühltes Spiegelglas leitet. Diese Erscheinungen sind sehr mannigfaltiger Art, und vorzüglich deswegen sehr merkwürdig, weil ihre besondere Beschaffenheit von der Gestalt abhängt, die man dem Glas vor dem Glühen giebt.

1. Kreisförmige Scheiben geben genau die im vorigen §. bei Nr. 2. beschriebene Erscheinung.
2. Quadratische geben eine vorzüglich schöne. Ist der obere Spiegel in der 1sten oder 3ten Lage, und stehen zwei Gegenseiten lothrecht gegen das Brett AC (Fig. 145.), so zeigt sich von der Mitte aus ein helles farbenloses Kreuz, dessen Arme den Seiten des Quadrates parallel sind. In den vier Ecken aber sieht man schöne farbige Flecke, die man mit Pfauenaugen vergleichen kann. Giebt man aber, bei ungeänderter Lage des Glases, dem oberen Spiegel die 2te oder 4te Lage, so bleibt die Form der Erscheinung, aber die Farben sind entgegengesetzt.
3. Jede Veränderung in der Gestalt der Platte giebt eine veränderte Farben-Erscheinung. Auch ändern sich die Erscheinungen, wenn man eine Platte entweder in ihrer eigenen Richtung um die Achse des Instrumentes dreht, oder wenn man auf irgend eine Art ihre Neigung gegen die Achse verändert. Aber noch ist es nicht gelungen, einfache und auf alle besondern Fälle anwendbare Gesetze dieser Erscheinungen zu finden. Nur ergiebt sich, daß durch das schnelle Abkühlen das innere Gefüge des Glases verändert wird, daß aber diese Veränderung zugleich von der Gestalt des Umfanges abhängig ist.

4. Legt man mehrere quadratische Platten, nach der bei Nr. 2. beschriebenen Lage auf einander, so werden die Farben lebhafter, nehmen aber bei einer größeren Anzahl an Deutlichkeit und Regelmäßigkeit der Form ab.
5. Wenn man eine schnell gekühlte quadratische Glasplatte, auf ein Fensterbrett, oder eine andere wagrechte Ebene legt, und das von dem freien Himmel kommende und reflektirte Tageslicht beobachtet, so erblickt man in gewissen Richtungen auf der Oberfläche das dunkle, in andern das helle Kreuz mit den zugehörigen Pfauenaugen, zwar nur matt, aber doch kenntlich: woraus zu folgen scheint, theils daß durch bloße Reflexion Farben entstehen können, theils daß sich in dem gemeinen Tageslicht schon viele polarisirte Strahlen befinden.

III. Farben durch Interferenz der Strahlen.

§. 17. Thomas Young in London hat schon vor mehreren Jahren mit vielem Scharfsinn den Versuch gemacht, verschiedene Arten von Farben-Erscheinungen, durch eine sinnreiche Hypothese, die er das Princip der Interferenz nennt, unter einen gemeinsamen Gesichtspunkt zu bringen. Es würde die Gränzen eines Lehrbuches weit überschreiten, wenn wir die Theorie dieser Hypothese in einigem Umfang darlegen wollten. Aber den Begriff, und die Grundlage derselben dürfen wir nicht übergehen, da sie anfängt, in der Optik eine ziemlich wichtige Rolle zu spielen. Um aber den Sinn dieser Hypothese anschaulich machen zu können, ist es nöthig, das, was oben (XLIX. §. 14.) von der Beugung des Lichtes nur kurz erwähnt worden, hier etwas umständlicher darzulegen.

a. Von der Beugung und Diffraction des Lichtes.

§. 18. Wenn die von A Fig. 146. auslaufende Linie als ein Bild eines Lichtbündels betrachtet wird,

dessen Strahlen parallel, oder fast parallel sind, und im Fortgange dicht vor einem in B befindlichen Körper vorbeigehen, so werden die nächsten ziemlich stark aus ihrer Richtung gegen den Körper hin, z. B. nach E hin abgewendet; die etwas entfernteren etwas weniger, etwa nach F; bis in einer gewissen Entfernung, die aber so klein ist, daß kein genaues Maaß derselben angegeben werden kann, ein Strahl ACD ohne Änderung seiner Richtung vorbei geht. Dieses ist die Erscheinung, welche man im engeren Sinne Beugung (inflexio) des Lichtes nennt, und man sieht leicht ein, daß der ganze winkelförmige Raum DCE mit gebeugtem Licht angefüllt sei. Bei dieser einfachen Beugung scheinen nie Farben zu entstehen.

Es kommen in der Erfahrung eine Menge von Erscheinungen vor, welche das Dasein einer solchen Beugung bestätigen, die aber wenig auffallend sind, und daher leicht übersehen werden. Eine der unzweideutigsten Beobachtungen bietet sich den Astronomen dar, wenn der am Himmel fortrückende Mond einen Fixstern bedeckt, oder einen bedeckten verläßt. Denn in beiden Fällen scheint der Stern einige Secunden lang unbeweglich an dem Rande des Mondes zu hängen, weil man ihn durch gebeugtes Licht sehen kann, wenn er selbst ein klein wenig hinter dem Monde steht.

Es ist aber in den meisten Fällen mit dieser Beugung noch eine andere Erscheinung verbunden. Ein Theil der in dem Lichtbündel AB enthaltenen Strahlen, wird von den Körper abwärts gewendet. Es scheint dieses aber nicht unmittelbar und nothwendig mit der Beugung zusammen zu hängen, sondern eine Folge der gewöhnlichen Zerstreuung (XLIV. §. 9.) oder Zurückstrahlung (XLIV. §. 8.) zu sein. Diese Ablenkung ist daher bald größer bald kleiner, nach Beschaffenheit des Körpers B. Beugung und Ablenkung zusammen nennt

man Diffraction (Verstreuung) des Lichtes. Auch begreift man wohl beides unter dem Worte Beugung im weitern Sinne. Auch die abgelenkten Strahlen erscheinen gewöhnlich nicht farbig, wenn die einfallenden weiß sind; so daß aus einer einfachen Diffraction nie Farben zu entstehen scheinen.

Man wird sich also von der gesammten Wirkung der Diffraction folgende Vorstellung zu machen haben. Wenn AB Fig. 147. ein sehr dünner Bündel vom Licht ist, der in B dicht an einem Körper vorbeigeht, so verstreut sich derselbe innerhalb eines gewissen Winkels DBE, so daß der ganze Raum dieses Winkels mit Strahlen gefüllt ist, deren Farbe durchgehends mit der Farbe des einfallenden Lichtes übereinstimmt. Die äußerste Gränze BD dieses Winkels ist aber veränderlich und unsicher.

§. 19. Die Hauptversuche über die Beugung haben schon im 17ten Jahrhundert Grimaldi (in Rom) und Newton gemacht, aber beiden ist es nicht gelungen, bestimmte und allgemeine Gesetze der Erscheinungen zu entdecken.

Alle Versuche stellt man in einem Kegel von schwachem und divergirendem Lichte an. Einen solchen erhielten die genannten Beobachter, indem sie Sonnenlicht, vermittelst eines Spiegels, horizontal in ein verfinstertes Zimmer durch eine ganz feine, mit einer Nadel gestochene Öffnung leiteten. Aber dieses Licht ist zu schwach, und der Kegel zu eng, um alles deutlich wahrzunehmen. Weit besser gelingen alle Erscheinungen, wenn man das Licht (etwa vermittelst eines gewöhnlichen Sonnen-Mikroskops) auf eine kleine Glaslinse leitet, von deren Brennpunkte aus das Licht in hinlänglicher Stärke und Umfang divergiret. Wir begnügen uns nun, drei Haupt-Versuche kurz zu beschreiben.

1. Mit einer hinlänglich großen schwarzen Fläche, in deren Mitte sich ein sehr feines Loch befindet, fange man den Lichtkegel einige Fuß von seiner Spitze auf. Das durch die kleine Öffnung durchgehende Licht fange man wieder in der Entfernung von einigen Fußen mit einer recht ebenen weißen Fläche auf, so entstehen auf dieser um den Mittelpunkt des durch die erste Fläche gegangenen Lichtes farbige Kreise, welche viel Ähnlichkeit mit denen haben, die Newton zwischen zusammengedrückten Gläsern sah (XLIX. §. 14.). Es wechseln nämlich dunkle mit farbigen Ringen in regelmäßiger Folge ab, und die letzten sind sämmtlich an der innern Seite roth, an der äußern blau.

2. Man mache in der auffangenden schwarzen Fläche eine etwas größere Öffnung, und vor dieser befestige man zwei recht gerade und scharfe Messerklingen so, daß das Licht bloß zwischen ihnen hindurch gehen kann. Man mache ferner eine Vorrichtung, um vermittelst einer feinen Schraube eine der Klingen der andern parallel beliebig nähern zu können. Dann zeigen sich folgende Erscheinungen. Sind die Schneiden noch etwas entfernt, so zeigt sich auf der weißen auffangenden Fläche nichts als ein weißer, ziemlich scharf begränzter viereckiger Lichtschein. Bringt man aber die Schneiden sehr nahe, so wird der Lichtschein breiter, als er vermöge gerader Strahlen sein könnte, und es kommen in demselben parallele Lichtlinien zum Vorschein, die sich bei stärkerer Annäherung der Schneiden vermehren, farbig werden, und über die Gränzen des Lichtscheines hinaus in das Dunkle treten. Sie vermehren sich stätig, bis die Schneiden einander berühren, und kein Licht mehr durchlassen. Diese farbigen gera-

den, dem Lichtscheine parallelen Säume stehen unter ähnlichen Gesetzen als die Lichtringe im ersten Versuch. Dunkle Linien wechseln regelmäßig mit farbigen ab, und diese sind auf der innern Seite blau, auf der äußern roth.

3. Nach Wegnahme der schwarzen Fläche bringe man einen dünnen Körper (ein Haar, einen Draht, ein feines Stäbchen von beliebigem Stoffe) in das Licht des Kegels, und beobachte seinen Schatten, auf der weißen auffangenden Ebene. Befindet sich diese dicht hinter dem Körper, so ist sein Schatten scharf begränzt, und überall von gleicher Schwärze. Entfernt man die auffangende Fläche, so erscheint in einer gewissen Entfernung in der Mitte des Schattens eine Lichtlinie. Aus dieser entwickeln sich, so wie sich die auffangende Ebene weiter entfernt, mehrere ähnliche; sie ordnen sich zu beiden Seiten symmetrisch, und werden farbig. Bald kommen auch außer dem Schatten dergleichen farbige Säume zum Vorschein, bis das Licht zu schwach wird, um etwas deutlich zu unterscheiden. Doch zeigen sich außerhalb des Schattens nicht leicht mehr als drei Farbensäume auf jeder Seite.

Die Farbensäume innerhalb und außerhalb des Schattens scheinen nicht unter denselben Gesetzen zu stehen. Th. Young betrachtet sie als zwei verschiedene Systeme. Sie haben übrigens mit den vorigen Versuchen das gemein, daß sie durch dunkle Linien in regelmäßiger Folge getrennt sind, und sich auf der innern Seite blau, auf der äußern roth zeigen.

Anm. 1. Der Versuch Nr. 3. wurde schon von Grimaldi gemacht. Nr. 2. gehört mit mancherlei Abänderungen zu Newtons eigenthümlichen Versuchen. Nr. 1. scheint neuer zu sein, wenigstens kennt ihn der Verfasser nur aus Biot, hat aber noch nicht Gelegenheit gehabt, ihn zu wiederholen.

2. Anstatt der weißen Ebene, womit man das Licht auffängt, kann man sich einer mattgeschliffenen Tafel von Spiegelglas bedienen, um die Erscheinung von hinten zu betrachten, und den Abstand der Säume zu messen. Ja man kann sogar die Glasplatte weglassen, und die Farben unmittelbar durch eine an einem Gestelle horizontal bewegliche Lampe betrachten.

§. 20. Thomas Young in London hat einige sehr merkwürdige Gesetze dieser Farbenerscheinungen entdeckt, und darauf eine Theorie gegründet, welche in der That ganz neue Aussichten in der mathematischen Farbenlehre eröffnet. Er nennt seine Erklärungsart das Princip der Interferenz. Sehr wichtig wird diese Erklärungsart dadurch, daß nicht nur die durch Beugung entstehenden Farben, sondern auch die Farben dünner Scheiben (XLIX. §. 14.), und mehrere andere in der Folge zu erwähnende Farbenerscheinungen sich auf eine ganz gleichförmige Art daraus erklären lassen. Wir können daher diese Theorie nicht übergehen, müssen uns aber auf die Erörterung der Grundbegriffe beschränken. Da Young seine Untersuchungen besonders auf den dritten Versuch gründet, so müssen wir diesen zunähst etwas genauer erörtern.

Es sei in A Fig. 148. die Spitze eines Lichtkegels, der sich in einem verfinsterten Zimmer innerhalb des Winkels BAC ausbreitet, und in einer Entfernung von vielen Fußen durch eine weiße Fläche DE aufgefangen wird. Wenige Fuß von A sei ein dünner Körper FG (etwa ein schmaler Streifen von Kartenpappe) aufgestellt, um seinen Schatten auf DE zu beobachten. Zieht man nun durch die Mitte von FG die Linie AH, desgleichen durch F und G die Linien AI und AK, so ist IK der Durchmesser des Schattens, so fern er bloß von ungebrochenen Strahlen, wie AI und AK, begränzt wird. In der Mitte desselben H zeigt sich dann nach dem vorigen §. stets eine Lichtlinie parallel den Seitenlinien des Schattens. Neben dieser ordnen sich sym-

metrisch nach I und K hin, abwechselnd dunkle und farbige Linien. Eben dergleichen ordnen sich außerhalb IK nach D und E zu, die aber nichts als bloße Fortsetzungen der zwischen I und K erscheinenden zu sein scheinen. Alle diese Farbensäume entstehen nun durch das bei F und G inflectirte Licht (vielleicht auch durch nach DE hin reflectirtes, welches in der Zeichnung um mehrerer Einfachheit willen weggelassen ist); und wir nehmen an, daß FL der äußerste bei F, und GM der äußerste bei G inflectirte Strahl sei.

§. 21. Um dem in diesem Lehrbuche überall beobachteten Grundsatze, Thatsachen und Hypothesen scharf zu unterscheiden, getreu zu bleiben, wollen wir zuerst in diesem §. zwei neuentdeckte Gesetze erörtern, die man für unzweifelhafte Thatsachen anerkennen muß.

1. Wenn man dicht hinter FG ein Kartenblatt Nn so in den Schattenraum einschiebt, daß dadurch alles bei G inflectirte Licht KGM aufgefangen wird, so verschwinden alle Farben und Säume, und das bei F gebeugte Licht IFL giebt auf DE eine gleichmäßige farbenlose Erleuchtung. Daß der Erfolg eben so ist, wenn man das bei F gebeugte Licht auffängt, versteht sich von selbst. Schiebt man das Kartenblatt etwas entfernter, etwa bei Oo, in den Schattenraum, so begreift man, daß es tiefer eingeschoben werden muß, wenn alle Säume verschwinden sollen.

Aus dieser Beobachtung folgt aber unwiedersprechlich:

daß das gebeugte Licht an sich ohne Farbe ist, und daß die Farben auf DE nur dadurch entstehen, daß in jedem Punkte des Schattenraumes IK zwei gebeugte Strahlen zusammenstoßen.

Dieses Zusammentreffen zweier fast paralleler Strahlen nennt Young Interferenz (von dem Engl. to interfere zusammenstoßen).

Dieses Gesetz ist also keine Hypothese, sondern eine Thatsache. Young hat aber ein zweites noch bestimmteres und sehr merkwürdiges Gesetz in Betreff der regelmäßigen Folge der farbigen und dunkeln Säume entdeckt. Um dieses deutlich zu machen, sei Fig. 149. derjenige Theil der vorigen Figur, welcher mit denselben Buchstaben bezeichnet ist.

Betrachten wir nun zuerst den Punkt H, so ist klar, daß hier zwei gebeugte Strahlen von gleicher Länge FH und GH zusammentreffen, und aus dem Versuch ergiebt sich, daß der Punkt H in diesem Falle nur Licht von der Farbe der einfallenden Strahlen, also in unserm Falle weißes Licht, umher sendet. Betrachtet man dagegen irgend einen andern Punkt, z. B. r, der noch innerhalb des Schattens liegt, so ist klar, daß die daselbst zusammentreffenden Strahlen Fr und Gr ungleich sind; und die Beobachtung zeigt, daß ein solcher Punkt entweder dunkel oder farbig erscheint. Die Farben müssen also ihren Grund in der ungleichen Länge der interferirenden Strahlen haben. Man sieht aber leicht ein, daß man für jeden Punkt, wie r, die Länge beider Strahlen Fr und Gr, und also auch ihre Differenz finden könne, wenn (außer den beständigen Größen FG und PH noch die veränderliche) Hr gegeben ist.

2. Nun wollen wir annehmen, die Punkte q, r, s und K sein diejenigen, wo sich entweder dunkle, oder gleichfarbige Säume zeigen, und man habe die Abstände Hq, Hr, Hs, HK auf das sorgfältigste gemessen, und daraus die Differenzen der in jedem Punkte interferirenden Strahlen berechnet, so ergiebt sich,

daß diese Differenzen allezeit das Gesetz einer gemeinen arithmetischen Reihe befolgen, entweder von der Form

$$\delta;\ 3\,\delta;\ 5\,\delta;\ 7\,\delta\ \text{ꝛc.};$$

oder

$$2\,\delta;\ 4\,\delta;\ 6\,\delta;\ 8\,\delta\ \text{ꝛc.};$$

in welchen Reihen das erste Glied immer die Differenz der Lichtstrahlen Fq und Gq des nächsten bei H liegenden Punktes ist, der eine gewisse Farbe zeigt.

Auch dieses Gesetz darf man nicht als eine bloße Hypothese, sondern man muß es als eine Thatsache anerkennen. Denn obgleich die genaue Messung so kleiner Größen, wie Hq, Hr, Hs und HK, gar nicht leicht ist, uud daher auch die daraus berechneten Differenzen nicht für ganz sicher zu halten sind, so stimmen doch die Ergebnisse aus Young's Versuchen unter sich, und mit denen, die er aus Newtons Messungen ableitete, so genau zusammen, als man nur bei nicht völlig zuverlässigen Datis erwarten konnte.

Die Farbenstreifen, welche sich außer dem Schattenraume KI Fig. 148. zeigen, erklärt Young aus der Interferenz eines ungebeugten und eines gebeugten Strahles. Zeigt sich z. B. in M eine Farbe, so hat man die Differenz der Strahlen

$$(AG + GM) - AM$$

zu berechnen; und wenn mehrere Punkte über I dieselbe Farbe zeigen, so zeigt sich wieder bei ihnen das Wachsen der Differenzen nach demselben Gesetz.

Anm. Man übersehe bei Betrachtung der Zeichnungen 148. und 149. nicht, daß alle Dimensionen in der Richtung FG, um der Deutlichkeit willen, viel zu groß gegen die Dimensionen in der Richtung PH gezeichnet werden mußten. Alle Winkel bei den Punkten A, F, G, M, H, q, r, s, K müssen als sehr klein gedacht werden. Denn die Wirkungen der Interferenz zeigen sich nur, wenn die zusammenstoßenden Strahlen (wie Fq, Gq, Fig. 149.) fast parallel sind.

§. 22. Diese merkwürdigen Entdeckungen führen sehr natürlich, oder vielmehr nothwendig zu der Frage, wie es zugehe, daß so kleine Differenzen in den Wegen der Strahlen, eine so große Veränderung in dem zurückgeworfenen Lichte hervorbringen können? Young glaubt, daß diese Frage nur durch die Vibrationshypothese (XLIV. §. 3.) befriedigend beantwortet werden könne, und es ist nicht zu leugnen, daß sie sich ungezwungener an diese, als an die Emanationshypothese anschließt, so daß, wenn eine dieser beiden Vorstellungsarten das Geheimniß des Lichtes wirklich errathen haben sollte, Young's Entdeckungen ein wichtiger Beweis für das erstere sein würden. Da die Theorie der Vibrationen und Oscillationen von den vorzüglichsten Mathematikern schon sehr vollständig entwickelt ist, so hat Young's Ansicht den wichtigen Vortheil, daß sie einer indirekten Prüfung durch Rechnung fähig ist, indem man aus der Theorie Resultate ableiten, und

untersuchen kann, ob sie mit der Beobachtung übereinstimmen, wodurch die Grundlage der Theorie mit der Zeit nothwendig einen höheren Grad von Festigkeit erhalten wird. Die Weitläuftigkeit und Schwierigkeit dieser Untersuchung erlaubt uns indessen hier nur bloß einige wenige allgemeine Erörterungen beizufügen.

So wie der Schall durch Oscillationen der Luft entsteht, und sich in Schallwellen und Schallstrahlen ausbreitet, eben so entstehet nach der Vibrations-Hypothese das Licht durch Oscillationen eines durch alle Räume verbreiten Lichtäthers, und pflanzt sich in demselben durch Lichtwellen und Lichtstrahlen fort. Nach dieser Hypothese bestehet ein Lichtstrahl aus abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen des Lichtäthers, von gleicher Länge, und wir wollen (auf ähnliche Art als in der Akustik) die Länge einer Verdichtung und Verdünnung zusammen die Breite einer Lichtwelle nennen. Diese Wellenbreiten sind bei jedem farbigen und bei weißem Lichte anders. Denn die Farben entstehen, wie die Töne, durch die Menge der Oscillationen, welche die Punkte eines Strahles in einer Secunde machen, und die Wellenbreiten stehen mit diesen Mengen der Oscillationen in umgekehrtem Verhältniß (XVI. §. 12.). Nennt man nun die Länge einer Verdichtung oder Verdünnung für irgend eine Art von Licht δ, also eine Wellenbreite 2δ, so ist klar, daß jede zwei Punkte eines Strahles, die um 2δ, 4δ, 6δ &c. von einander entfernt sind, sich in völlig gleicher Oscillationsbewegung, sowohl in Ansehung der Richtung, als der Geschwindigkeit befinden.

Von der Sonne aus verbreiten sich nun die Lichtwellen in kugelförmigen Schichten. Fallen daher mehrere Sonnenstrahlen auf einen Punkt, so befinden sich die in jedem Augenblick auffallenden Lichtpunkte in völlig gleichem Oscillationszustande. Daher müssen sich auch in Fig. 148. alle Punkte des Lichtes, welche die Spitze des Kegels A bilden, desgleichen die Punkte F und G der Strahlen AF und AG in jedem Augenblick in gleichem Oscillationszustande befinden. Betrachtet man nun wieder Fig. 149, so ist klar, daß auch der Punkt H in jedem Augenblick die Lichtpunkte in völlig

gleichem Oscillationszustande erhält, und daher ist das Licht, welches H zurückwirft, von derselben Beschaffenheit, als das einfallende Licht. Betrachtet man dagegen einen nahe bei H liegenden Punkt q, und nimmt man an, daß die Differenz der Strahlen Fq—Gq kleiner sei als eine Wellenbreite 2 δ, so ist klar, daß die in q zusammentreffenden Lichtpunkte sich nicht in gleichem Oscillationszustande befinden; folglich wird auch das von q zurückgeworfene Licht von einer andern Art als das einfallende Licht sein. Ist aber die Differenz der Strahlen in r gerade um 2 δ größer als in q, und eben so in s in Vergleichung mit r, und in K in Vergleichung mit s, so begreift man leicht, daß das von den Punkten q, r, s, K zurückgeworfene Licht von völlig gleicher Beschaffenheit sein müsse. Träfen in q völlig gleiche aber entgegengesetzte Oscillationen zusammen (welches der Fall sein wird, wen Fq—Gq = δ), so zerstören sie einander, und der Punkt q erscheint dunkel, und eben so r, s, K, wenn die Differenz der Strahlen in diesen Punkten 2 δ beträgt. Überhaupt, wenn 2 δ überall die Differenz der Strahlen in den Punkten q, r, s, K ist, so müssen sich in denselben gleiche Farben zeigen; und durch den Unterschied ihrer Differenzen (2 δ) wird man zugleich die Breiten der Wellen des Lichtes kennen lernen.

Die weitere Entwickelung dieser Theorie erfodert mehr Rechnungen, als die Gränzen eines Lehrbuches auszuführen verstatten.

Anmerkungen. Gilbert hat in seinen Annalen die wichtigsten Aufsätze Young's vollständiger, als sonst seine Gewohnheit war, und in ganz guten Übersetzungen geliefert. Den befriedigendsten Aufsatz findet man B. 39. S. 262. ff; womit man noch drei frühere Abhandlungen in demselben Bande S. 156, 206 und 252. ff. verbinden muß. Auch gehören noch dazu zwei Aufsätze über Schall und Licht, B. 22. S. 249, und 337. Es ist sehr zu bedauern, daß der Vortrag dieses scharfsinnigen Beobachters nicht geeiget ist, dem Leser das Studium seiner Entdeckungen zu erleichtern, und man ist daher mehreren gründlichen französischen Naturforschern, Fresnel, Poisson, Arago, Biot u. a. vielen Dank schuldig, welche die Lehre von der Interferenz erläutert, erweitert und berichtigt haben. In den Annales

de Chemie et de Physique findet man von dem Jahr 1816 an sehr viele hieher gehörige Abhandlungen der genannten Gelehrten. Das wichtigste hat Fresnel geleistet, der die ganze Theorie der Interferenz mit eben soviel Gründlichkeit und Scharfsinn als Deutlichkeit entwickelt hat. Der Fortsetzer der Gilbertschen Annalen verdient den Dank der deutschen Naturforscher, daß er angefangen hat, eine Abhandlung Fresnel's, sur la lumière, womit der Verfasser die französische Übersetzung von Thomson's Chemie bereichert hat, ins Deutsche zu übersetzen. Man findet sie im Jahrgang 1825, St. 1, S. 89. ff. St. 3, S. 303. ff. St. 10, S. 323. ff. Es ist zu wünschen, daß der Herr Herausgeber das Publikum nicht zu lange auf die Fortsetzung warten lasse. Diese Abhandlung enthält zwar nur eine allgemeine Darstellung der Theorie, entwickelt aber die von Young ganz vernachlässigten Grundbegriffe eben so gründlich als deutlich. Die vollständige Ausführung aber muß man in den Ann. de Ch. et de Ph. aufsuchen. Auch Biot's oft erwähnte phys. Werke enthalten gründliche und befriedigende Aufklärungen.

§. 23. Die zu beobachtenden Gränzen erlauben uns, nur noch kurz zu erwähnen, daß man nicht ohne Erfolg versucht hat, außer den Farben durch Beugung auch die Nebenfarben des Regenbogens, die farbigen Höfen an Sonne und Mond, und die Farben, welche fein gestreifte Flächen, sowohl im durchgehenden als zurückgeworfenen Lichte zeigen, aus dem Princip der Interferenz zu erklären.

Young's Anwendung auf die Nebenfarben des Regenbogens sehe man im Gilbert, B. 39. S. 272. f. — Gibbes Walker Jordan's Versuch, die Höfe um Sonne und Mond zu erklären, sehe man B. 18, S. 1. ff. — Über die Farben fein gestreifter Flächen haben Brewster in Edinburg, und Frauenhofer in München u. a. viele feine Beobachtungen und Untersuchungen angestellt.

Bloß über die letzte Erscheinung scheint es nöthig, noch Einiges zu sagen.

Wer zuerst diese Farbenerscheinung genauer untersucht habe, kann der Verfasser nicht sicher anzeigen. Vielleicht kann man Brewster als den Entdecker nennen. Er fand, daß man die schillernden Farben der Perlenmutter in schwarzes Siegellack abdrucken könne, und daß diese Farben, von äußerst feinen Strichen, oder Rissen auf der Oberfläche herrühren. Man hat dieses Kunststück in England nachgeahmt, und metallischen Oberflächen dadurch schillernde Farben gegeben, daß man darauf äußerst feine dem bloßen Auge unsichtbare parallele Risse, in gleichem Abstande von einander, und in solcher Menge gezeichnet hat, daß mehrere Hunderte auf einen Zoll gehen. Niemand hat diese Versuche in größerer Vollkommenheit mit genaueren Untersuchungen darüber angestellt, als Frauenhofer. Er hat seine Versuche im 8ten Bande der Königl. Baierschen acad. Schriften beschrieben. Einen sehr lehrreichen Aufsatz hierüber von ihm selbst, findet man auch in Gilberts Ann. B. 74, S. 337. ff. Eine Spiegelplatte, in welche auf der einen Fläche solche unsichtbare feine Parallelen eingerissen werden, zeigt, unter den gehörigen Vorrichtungen, die a. a. O. nachzusehen sind, im durchgehenden und reflektirten Lichte sehr vollständige prismatische Farbenbilder, und zwar um so vollständiger, je genauer und enger die Parallelen gezogen sind.

Da es nicht leicht ist, zweckmäßig vorgerichtete Platten zu diesen Versuchen zu erhalten, so wollen wir noch einen äußerst einfachen und leichten Versuch hinzufügen, der lehrreich genug ist, um hier kürzlich beschrieben zu werden.

Wenn man durch ein seidenes Tuch, dessen Gewebe so fein ist, daß 80 bis 100 Fäden auf einen Zoll gehn, eine nahe Lichtflamme betrachtet, so erblickt man zwei Lichtschweife, deren einer in senkrechter, der andere in wagrechter Richtung (oder vielmehr parallel mit den Fäden) die Lichtflamme durchschneidet. In den Lichtschweifen zeigen sich Farbensäume, die gegen die Lichtflamme blau, nach außen roth, aber gewöhnlich unregelmäßig sind; welches ohne Zweifel von Ungleichheiten des Gewebes herrührt.

Betrachtet man ebenso eine beträchtlich entfernte Lichtflamme, so zeigen sich auch da die Lichtschweife, aber die Farbensäume minder kenntlich. Dagegen erblickt man in

der Mitte die Flamme vervielfältigt. Um die Erscheinung deutlicher zu sehen, spanne man das Tuch vor dem Objectivglase eines achromatischen Fernrohres aus. Dann sieht man gewöhnlich in der Mitte neun Bilder der Flamme in Gestalt eines Quadrats geordnet. Die mittlere Hauptflamme ist wenig gefärbt; alle übrigen aber sind auf der Seite gegen die Hauptflamme blau, und nach außen roth. Bisweilen zeigen sich auch außer diesen neunen noch mehr Bilder, aber nur in den beiden Lichtschweifen, nicht außer denselben. Alle Nebenbilder sind im vertikalen Schweif beträchtlich länger, im horizontalen beträchtlich breiter als die Hauptflamme.

Es kann nicht zweifelhaft sein, daß die Lichtschweife und Bilder ihren Ursprung der Diffraction des Lichtes zwischen den Fäden des Gewebes verdanken, und zwar rührt der senkrechte Schweif von den horizontalen Fäden, und umgekehrt der horizontale Schweif von den senkrechten Fäden her. Dies ergiebt sich aus folgender Beobachtung. Zieht man die Fäden der einen Richtung aus, so daß bloß parallele der andern Richtung bleiben, so sieht man nur einen Schweif, und zwar steht dieser jedes Mal in senkrechter Richtung auf die Fäden.

Vielleicht haben zuerst Ritterhouse und Nicholson, dieser Erscheinung, deren Verbindung mit den Farben gestreifter Flächen in die Augen fällt, einer näheren Aufmerksamkeit gewürdigt. M. s. Gilbert B. 18, S. 197. ff.

IV. Frauenhofers merkwürdige Entdeckung über das prismatische Farbenbild.

§. 24. Man leite durch eine sehr schmale Spalte im Fensterladen eines verfinsterten Zimmers Sonnenlicht horizontal in das Zimmer vermittelst eines Metallspiegels. Man lasse dasselbe auf ein vertikales 20 oder mehr Fuß entferntes sehr reines Prisma fallen. Dicht hinter demselben stelle man ein gutes achromatisches Fernrohr auf, in der Richtung des ausfahrenden Lichtes. Dann erblickt man im Fernrohr ein sehr vollständiges prismatisches Farbenbild, in welchem die Far-

ben besser als in den gewöhnlichen abgesondert sind. Das merkwürdigste aber ist, daß dieses Bild von einer kaum zählbaren Menge von senkrechten Querlinien durchschnitten ist, die größtentheils schwarz oder dunkel, zum Theil auch heller sind, als das übrige Licht. Jede dieser Linien hat ihre unveränderliche Lage, und bleibt genau in derselben Farbe, man mag den Versuch abändern, wie man will.

Es ist vor der Hand noch nicht möglich, den Ursprung dieser Linien anzugeben; aber der Entdecker hat einen sehr wichtigen Gebrauch von der Beständigkeit ihrer Lage gemacht, indem er dadurch in den Stand gesetzt worden ist, die Brechungsverhältnisse aller farbigen Strahlen viel genauer, als es auf andere Art möglich ist, zu bestimmen.

Frauenhofer hat diese Entdeckung im 5ten Band der Königl. Baierschen acad. Schriften bekannt gemacht. Einen ziemlich vollständigen Auszug giebt Gilbert B. 56, S. 264. ff.

Sehr merkwürdig ist noch die Beobachtung, daß Mondlicht, und bloßes Tageslicht dieselben Querlinien zu haben scheinen; das Licht einiger Fixsterne hingegen, elektrisches Licht, Licht von Weingeist ꝛc. andere.

V. Über die sogenannten zufälligen Farben, die Hr v. Göthe recht schicklich physiologische nennt.

§. 25. Es giebt Fälle, wo das Auge Farben sieht, ohne daß man sagen kann, daß farbiges Licht von außen ins Auge komme, wovon der Grund allerdings im Auge selbst liegt, also physiologisch sein muß. Jedermann kennt die schönen blauen Schatten, die sich oft an einem Morgen, vor dem vollen Anbruch des Tageslichtes in einem Zimmer zeigen. Auch kennt jeder das Farben-Phantom, welches vor den Augen schwebt, wenn man in die Sonne, oder ein anderes sehr blendendes

Licht gesehen hat, und dann die Augenlieder zuschließt. Es giebt eine sehr große Menge ähnlicher Erscheinungen, von welchen wir hier nur ein Paar näher erörtern können.

§. 26. Einer der schönsten hieher gehörigen Versuche ist folgender, den Hr. v. Göthe in seiner Farbenlehre angiebt.

Man setze in einem dunkeln Zimmer zwei brennende Kerzen, ungefähr in gleicher Entfernung von dem Beobachter, und etwa gegen $1\frac{1}{2}$ Fuß von einander entfernt, auf den Tisch. Dann lege man einen Bogen weißes Papier zwischen sich und die Lichter auf den Tisch, und halte ein dünnes Stäbchen ungefähr senkrecht auf die Mitte des Papiers, so erhält man begreiflich von demselben zwei Schattenbilder, welche nicht schwarz sondern grau sind, weil das Schattenbild welches durch das eine der beiden Lichter verursacht wird, durch das andere erleuchtet wird. Hält man aber jetzt vor die eine Lichtflamme ein etwas großes farbiges Glas, z. B. ein grünes, so daß die Farbe des ganzen Papiers dadurch einen Stich ins Grüne erhält, so erscheint der von diesem Licht erleuchtete Schatten in derselben Farbe, nur dunkler. Der andere Schatten hingegen erscheint ganz bestimmt in der entgegengesetzten Farbe; also in dem angenommenen Falle roth. Ist die Glasscheibe roth, so ist der zweite Schatten grün. Ist die Scheibe blau, so ist der zweite Schatten orangefarben u. s. f.

Es lassen sich hiermit eine Menge anderer Beobachtungen verbinden.

Wenn man auf ein Blatt Papier von einer lebhaften Farbe kleine Stückchen oder sehr schmale Streifen

von grauem Papier legt, so bekommen diese allezeit einen Stich in die entgegengesetzte Farbe.

Wenn man eine farbige Glastafel so gegen ein Fenster hält, daß sich dieses sowohl auf der oberen als unteren Fläche abspiegelt, so erscheinen die Ränder des unteren Bildes, wo es ein wenig über das obere hervorragt, allezeit in der entgegengesetzten Farbe des Spiegelglases.

Man halte ein Blättchen Papier von einer recht reinen und lebhaften Farbe so, daß es stark erleuchtet ist, gegenüber aber sich eine recht weiße Wand befindet. Sieht man dieses Blatt scharf an, und zieht es dann schnell weg, so erblickt man auf dem weißen Hintergrunde im ersten Augenblicke einen Fleck von der entgegengesetzten Farbe; u. dgl. m.

§. 27. So verschieden auch diese Erscheinungen sind, so lassen sie doch folgende sehr genügende Erklärung zu, wodurch sie unter einen einzigen gemeinschaftlichen Gesichtspunkt gestellt werden.

Es ist eine Thatsache, daß das Licht die Empfindlichkeit des Auges abstumpft, die Dunkelheit aber erhöht. Jeder der aus einem sehr hellen Zimmer in ein dunkles geht, und umgekehrt, macht die Erfahrung an seinen eigenen Augen. Der Eindruck nämlich, welchen das Licht auf das Auge macht, verschwindet nicht in demselben Augenblick, wo das Licht aufhört einzuwirken. Und je heftiger das Licht gewirkt hat, desto stärker, desto dauernder ist der Eindruck, den es zurückläßt; und eben diese noch fortdauernde Wirkung ist es, welche das Vermögen, neue schwächere Lichteindrücke zu empfinden, abstumpft. Daß nicht bloß ein weißes, sondern auch ein lebhaftes farbiges Licht so wirke, ist Erfahrung. Ver-

bindet man aber mit diesen Thatsachen die an sich nicht unwahrscheinliche Hypothese, daß farbiges Licht die Sehkraft nur für diese Farbe schwäche, nicht aber für das übrige farbige Licht, wodurch jenes zu Weiß ergänzt wird, so erklären sich die angegebenen Erscheinungen auf die ungezwungenste Art. Denn wenn z. B. in der ersten im vorigen §. angegebenen Beobachtung das ganze Papier grün beleuchtet ist, so wird dadurch die Sehkraft für Grün, aber nicht für die ergänzende Farbe Roth geschwächt. Betrachtet nun das Auge den zweiten Schatten, der offenbar bloß graues Licht (d. i. geschwächtes Weiß) ins Auge sendet, so erhält es in diesem Lichte alle drei Grundfarben, aber die Empfindlichkeit für Grün (d. i. für Blau und Gelb) ist geschwächt, und so muß die Empfindung des Rothen vorwalten, und der Schatten in dieser Farbe erscheinen. Man sieht leicht, daß die übrigen angeführten Erscheinungen ganz ähnliche Erklärungen zulassen.

Anm. Soviel dem Verfasser bekannt ist, hat Hr. v. Grotthuß zuerst in dem Schweiggerschen Journal diese eben so sinnreiche als einfache Erklärung gegeben. Mehrere ähnliche Farben-Erscheinungen hat Hr. v. Göthe in seiner Farbenlehre erörtert. Auch findet man manches dahin gehörige in den physikalischen Zeitschriften der letzten Jahre zerstreut.

Register.

(Durch die römischen Ziffern wird die Zahl der Capitel, durch die deutschen die der Paragraphen angezeigt.)

A.

Abstoßen, elektrisches, XXXVI. 3. — Gesetz desselben XXXIX. 17.

Abweichung der Magnetnadel XLII. 3. 4. 5. — der Lichtstrahlen wegen der Gestalt des Glases XLIX. 17. a. — wegen der Farbenzerstreuung. XLIX. 17. b.

Abweichungslinien, magnetische XLII. 4. XLIII. 2.

Achse des Auges XLV. 1. — des sphärischen Spiegels XLVI. 8. — des optischen Glases XLVII. 13. — magnetische XLIII. 2.

Adernhaut des Auges XLV. 1.

Adhäsion von Cohäsion verschieden VIII. 3—5. — ihr Einfluß auf hydrostatische Erscheinungen XXV.

Adhäsionsplatten XXV. 2.

Aërostatik XXXII.

Äther XXI. 14. XLIV. 4.

Affinität (Verwandtschaft der Stoffe) III. 14.

Aggregatzustand, Erklärung des Wortes II. 1. — er ist dreifach verschieden II. 1. 2. — Mittel, ihn zu verändern II. 3. — seine Veränderung ist eine chemische XXI. 15. — Ursach seiner Verschiedenheit und Hypothese, ihn zu erklären XI. 4. — er hat Einfluß auf die Naturerscheinungen II. 5. — bestimmt den Erfolg des Anstoßes XV. 9. — wird verändert durch die Wärme XVIII. 1.

Akustik, erste Gründe derselben XVI.

Alkohol XXI. 12.
Alkoholometer XXIV. 8.
Anatomie der organischen Körper, ein Theil der organischen Naturlehre. Einl. 6.
Anker des Magnets XLI. 4.
Anomalien, hydrostatische XXV.
Anstoß, centraler, gerader XV. 3. — Anstoß unelastischer Körper XV. 4. — (s. Stoß.) — elektrischer Anstoß XXXVI. 3.
Anwandlungen des Zurück- oder Durchgehens (Licht) XLIX. 14.
Anziehen und Abstoßen, elektrisches, XXXVI. 3. — Gesetz desselben XXXIX. 17.
Anziehung, eine Idee, Naturerscheinungen zu erklären III. 14. VIII. 5. — Anziehung zwischen festen und flüssigen Körpern XXV.
Apertur des Glases XLVII. 13.
Äquator, magnetischer XLII. 10.
Aräometer XXIV. 6—12. — Baumé's XXIV. 9. — Fahrenheit's XXIV. 10. 11. — Nicholson's XXIV. 11.
Armatur des natürlichen Magnets XLI. 17.
Astronomische Strahlenbrechung XLVII. 7.
Atwood's Fallmaschine XII. 5.
Aufsucher, eine Art Fernrohr, XLVIII. 9.
Auge, Beschaffenheit und Theile desselben XLV. 1.
Augengläser XLVIII. 1.
Ausdehnbarkeit (Expansibilität) eine allgemeine Eigenschaft aller wahrnehmbaren Körper I. 8.
Ausdehnsamkeit I. 8. — ein Aggregatzustand der Körper II. 1. — Einfluß der Wärme auf dieselbe XVII. 12. 13. — ihre Gesetze XXIX. — ist ein unterscheidendes Merkmal luftförmiger Stoffe XXVII. 1. — die der Luft ist das wahre Maaß der Wärme XXX. 1. 8. — ihr Maaß ist das Barometer XXIX. 3. — Erscheinungen aus derselben erklärt XXIX. 9. — sie wird durch Versuche der Luftpumpe sichtbar XXXI. 6. — specifische der Luftarten und Dunstarten XXXII. 9. 10.
Ausdehnung, allgemeine Eigenschaft der Körper I. 3. — Einfluß der Wärme auf dieselbe XVII. 12. 13.
Auslader der Elektricität XXXVIII. 14. — Henlyscher allgemeiner XXXVIII. 21.
Azotluft XXVII. 4.

B.

Barometer XXVIII. 2. — Gefäß-, Phiolen-, Heberbarometer XXVIII. 3. — durch dasselbe den Druck der Luft auf eine Fläche zu schätzen XXVIII. 6. — und Höhen zu messen XXXII. 11—16. — Phosphoresciren der Barometer XXXVII. 8.

Barometerstand, seine Veränderlichkeit XXVIII. 4. 5. — mittlerer täglicher und jährlicher XXVIII. 9.

Batterie, elektrische XXXVIII. 19. 20. — Versuche mit derselben XXXVIII. 22. — Voltaische XL. 6—14.

Beharrungskraft, ihre Wirkungen sind das Maaß ungleichartiger Massen V. 6.

Beharrungsvermögen der Körper und Grundgesetz desselben V. 4.

Bergcompaß XLII. 2.

Beschleunigung, Maaß derselben XII. 4. XIV. 11.

Beständige (permanente Luftarten) XVIII. 6.

Bestandtheile (Stoffe) der Körper III. 4. 5. — von Theilen verschieden III. 4. — entferntere III. 4. 8. — die Eigenschaften der Bestandtheile ändern sich bei Mischungen III. 11.

Beugung des Lichtes XLIV. 9. — Farben durch sie XLIX. 15.

Beweglichkeit, Eigenschaft der Körper I. 7.

Bewegung, Erklärung des Begriffes IV. 2. — verschiedene Arten derf. Einl. 10. — geradlinige, krummlinige, stätige, absetzende oder springende, gleichförmige, ungleichförmige, zunehmende, abnehmende IV. 2. — relative, absolute IV. 5. — zusammengesetzte IV. 6. — Lehrsatz über dieselbe IV. 7—9. — beschleunigte VI. 5. — Theorie der gleichförmig beschleunigten XII. 2—4. — aufsteigende XII. 6. — drehende XIV. 2—4. freie vorgeschriebene XIV. 1. — gleichförmig verzögerte XII. 6. — abnehmend beschleunigte XIV. 7. — schwingende (oscillirende zitternde) XIII. 5. XVI. 2. — mathematische Sätze von der Bewegung IV. — Theorie derselben IV. 4. — absolute und relative können verwechselt werden IV. 9. — Zerlegung der Bewegung IV. 8. 9. — Newton's Grundgesetze der Bewegung V. 3. 4. 8. 11. — sie sind nicht geradezu auf die nicht wahrnehmbare Materie anzuwenden V. 12. — Größe der Bewegung V. 7. — Mittheilung der Bewegung V. 10. — die Lehre von der Bewegung ist unabhängig von dem in-

nern Wesen der bewegenden Kraft. V. 9. — freie krummlinige Bewegungen XIII. — Wurfbewegungen XIII. 1—3. — Centralbewegungen XIII. 4—9. — Bewegungen auf vorgeschriebenen Wegen XIV. — Mittheilung der Bewegung durch Anstoß XV. — dieser verändert ihre algebraische Summe nicht XV. 3. — Bewegung der flüssigen Körper XXVI. 1—16. — Grundgesetz derselben XXII. 1. 2. — Bewegung fester Körper in Flüssigkeiten XXVI. 17—20. — pneumatische Bewegungen XXXV. — Ursachen derselben XXXV. 6—13.

Blaseinstrumente, Beobachtungen an denselben XVI. 17.

Bewegung, tägliche des Magnets XLII. 6. — sichtbare der Körper XLV. 16.

Bilder, wirkliche oder physische, geometrische XLVIII. 4. — der Gegenstände bei Spiegeln XLVI. 9—11. — bei Gläsern XLVII. 14—17.

Blätter, Durchgang derselben IX. 2.

Blau, eine einfache Grundfarbe XLIX. 22.

Blendung XLVIII. 2.

Botanik, ein Theil der Naturbeschreibung. Einl. 2.

Bousole XLII. 2.

Brahmahs hydraulische Presse XXII. 5.

Braun sind die dunklen Töne von Gelb XLIX. 24.

Brechbarkeit des Lichts bewirkt eine Farbenzersetzung XLIX. 13. — die (mittlere) der Strahlen XLIX. 6. Anm.

Brechung des Lichtes XLIV 9. — in durchsichtigen Körpern XLVII. — Grundgesetz ders. XLIV. 3. — Versuche über dieses Gesetz XLIV. 4. XLVII. 5. — allgemeine Erscheinungen ders. XLVII. 7. — durch Plangläser mit parallelen Flächen XLVII. 9. — durch sphärische Gläser XLVII. 11.

Brechungsebene LI. 2.

Brechungsverhältnisse XLVII. 3. 6. — durch's Glasprisma XLIX. 4—8. L. 19—27. — jedes giebt eine andre Farbe XLIX. 8.

Brechungsvermögen bei verschiednen Körpern verschieden XLVII. 6.

Brennglas XLVII. 18.

Brennpunkt der Spiegel XLVI. 8. — doppelter der Sammelgläser XLVII. 13. — negativer der Zerstreuungsgläser XLVII. 13. — der Zerstreuungsspiegel XLVI. 8. — der durch optische Gläser gebrochnen Farben XLIX. 16.

Brennraum XLVI. 18. XLVII. 13.

Brennspiegel, seine Einrichtung beruht auf XLVI. 13.
Brennweite der Spiegel XLVI. 8. — negative XLVI. 8. — die Brennweite aufzusuchen XLVI. 12. 14. 22. — Formeln, sie durch Rechnung zu finden XLVI. 17—19. — die der Gläser XLVII. 13.
Brille XLVII. 18.

C.

Calorimeter XIX. 6—8.
Camera clara, ludica, obscura XLVII. 18.
Capacität für die Wärme XIX. 5.
Capillarität XXV. 6.
Centralbewegung XIII. 4—9.
Centralkraft XIII. 4.
Centralmaschine XIII. 8.
Centrifugalkraft XIII. 7.
Centripetalkraft XIII. 7. XIV. 3.
Centrirte Gläser XLVII. 13.
Centrum, optisches XLVII. 13.
Chemie der organischen Körper, ein Theil der organischen Naturlehre. Einl. 6.
Cohäsion VIII. 1. 2. 5. — bei tropfbaren Flüssigkeiten XXI. 15. XXV. 2. — ihre Kraft in krystallisirten Körpern IX. 4. — ihr Einfluß auf hydrostatische Erscheinungen XXV.
Cohäsionskraft wird durch chemische Mischung verändert VIII. 1. — bestimmt die Wirkung des Anstoßes XV. 5. — vertritt bei drehenden Bewegungen das Geschäft der Centripetalkraft XIV. 3. — ihr Einfluß auf hydrostatische Erscheinungen XXV. — sie wird durch die Electricität vermindert XXXVI. 11.
Collectivglas s. Sammelglas.
Collectivspiegel s. Erleuchtungsspiegel.
Cometensucher XLVIII. 9.
Compaß XLII. 2.
Compressibilität (Preßbarkeit) allgemeine Eigenschaft der wahrnehmbaren Körper I. 8. — des Wassers XXI. 16. 17.
Compressionsgeräthschaft Örstedts XXI. 16.
Condensator XXXIX. 9—13.
Conductor XXXVI. 5. 6.
Conservations-Brillen XLVII. 18.

Consonanzen XVI. 5.
Contractilität I. 8.
Convexspiegel s. Zerstreuungsspiegel.
Correction des Thermometerstandes XXVIII. 8.

D.

Dampf XXVII. 8. — von Dunst verschieden XXXIII. 12.
Daniells Hygrometer XXXIV. 11—13.
Declinationscharte XLII. 4.
Declinationsnadel XLII. 1—6. — verschiedene Namen ders. nach verschiedenen Zwecken XLII. 2.
Declinatorium XLII. 2.
Deutlichkeit des Sehens hängt von der Entfernung der Gegenstände ab XLV. 11. Nr. 2. — die des Fernrohrs XLVIII. 3. 4.
Dichtigkeit VI. 3. — Verhältniß der Dichtigkeit der Luft zum Druck derselben XXIX. 3. — Dichtigkeit des Dunstes XXXIII. 2—5. 13—16.
Differential-Thermometer XVII. 7.
Diffractionen des Lichtes LI. 18.
Dioptrik XLVII. — Erklärung des Begriffes XLIV. 9. — Grundgesetz ders. XLVII. 3. — Versuche und Bemerkungen darüber XLVII. 4—6. — mathematische Theorie der Dioptrik XLVII. 19—28.
Dissonanzen XVI. 5.
Doppelstrich beim Magnetisiren XLI. 11.
Drehwage, elektrische XXXIX. 15.
Druck, Wirkung der Schwere VI. 2. — Druck auf tropfbare Flüssigkeiten XXII. 1—4. — Druck derselben auf die Wände und den Boden des Gefäßes XXII. 4—8. — auf eingetauchte feste Körper XXIII. — Abnahme des Luftdruckes mit der Höhe XXXII. 3. — den Luftdruck zu schätzen XXVIII. 10. — Verhältniß des Druckes der Luft zu ihrer Dichtigkeit XXIX. 3. — Luftdruck gegen sperrende Wände XXVIII. 10. — Berechnung seiner Wirkungen auf das specifische Gewicht der Luft XXXII. 7. — Erscheinungen durch den Luftdruck erklärt XXIX. 9. — er wird durch die Luftpumpe sichtbar XXXI. 7. — Wirkung des Druckes auf Luft und Dunst XXXIII. 8.
Dunkelheit XLIV. 20.

Dunst, ausdehnsamer XVIII. 6. XXVII. 7. 8. — seine Dichtigkeit XXXIII. 2—5. 13—16. — sein Unterschied von einer beharrlichen Luftart XXXIII. 8. 9. — sein Erscheinen, wenn er durch Druck oder Abkühlung tropfbar wird XXXIII. 12. — ist vom Dampf verschieden XXXIII. 12. — seine größte Dichtigkeit XXXIII. 13—15. — Gewicht der größten Dunstmenge in jedem Raume XXXII. 8.
Dunstarten, ihre specifische Schwere XXXII. 8. — specifische Ausdehnsamkeit derselben XXXII. 9. 10.
Dunstbläschen XXXIII. 12.
Dunstgehalt in der atmosphärischen Luft XXXIV. 1. 2.
Durchmesser, sichtbarer XLV. 8.
Durchsichtigkeit, Bedingung derselben XLVII. 2.
Dynamometer XLVIII. 14.

E.

Ebene, auffangende des Lichts LI. 2. 7.
Echo XVI. 14.
Eigenschwere VI. 3.
Einfallsebene LI. 2. 7.
Einfallsloth XLVI. 4.
Einfallswinkel XLVI. 4.
Eiscalorimeter XIX. 6.
Eisgeräthschaft XIX. 5.
Elasticität (Federkraft) Eigenschaft aller festen Körper I. 9. VIII. 8. — erklärt VIII. 7. — Wirkungen derselben VIII. 9. — sie entsteht durch die Cohäsionskraft VIII. 13. — bestimmt die Wirkung des Anstoßes XV. 6. — geringe der tropfbaren Flüssigkeiten XXI. 9. 16. 17. — der Luft XXIX. 1. 8.
Elektricität, Erklärung des Wortes XXXVI. 1—3. — wird bei Reibung jeder zwei ungleichartigen Körper erregt XXXVII. 5. — Erscheinungen ders. XXXVI. 2. — sie soll nicht das Innere der Körper durchdringen XXXVII. 9. — sie vermindert die Cohäsion XXXVI. 11. XXXVIII. 22. — ihre Entzündungskraft wirkt nach andern Gesetzen als die der Hitze XXXVI. 16. — ihre chemischen Wirkungen XXXVI. 16. — sie erregt Magnetismus XLIII. 10. — ihre Verwandtschaft zu den Körpern XXXVII. 14. — Erscheinungen im Finstern XXXVII. 7. — in verdünnter Luft XXXVII. 8. — Hypothese Franklin's über die elektrischen Erschei-

nungen XXXVII. 11. 12. Symmer's XXXVII. 13. 14. — de Luc's XXXVII. 15. — positive und negative Elektricität XXXVII. 1. — beide Arten entstehen zugleich XXXVII. 2. — Mittel, sie zu unterscheiden XXXVII. 6. — Grundgesetze ihres Verhaltens gegen einander XXXVII. 3. 4. — mitgetheilte Elektricität XXXVI. 15. XXXVIII. 4. — gebundene XXXVII. 13. 14. — vertheilte XXXVIII. 3. — verstärkte XXXVIII. 10—22. — Galvanische XL. 3—11. — thierische XL. 4. 5.

Elektrische Wage Coulomb's XXXIX. 14—18.

Elektrisirmaschine XXXVI. 2.

Elektrometer XXXVI. 12. XXXVIII. 9. — Henly's Quadrant-Elektrometer XXXVI. 12. — Bohnenbergersches XL. 10.

Elektrophor XXXIX. 2. — Erregung seiner Elektricität XXXIX. 3. — Erscheinungen an demselben XXXIX. 3. — Mittel, seine Elektricität zu verstärken XXXIX. 6. — Versuche mit demselben XXXIX. 7. 8.

Elektroskop XXXVI. 12.

Elementartheilchen IX. 1. 6.

Emanationssystem (Optik) XLIV. 3. XLIX. 20.

Entfernung der Kräfte X. 11.

Entfernung der Gegenstände wird durch das Auge nicht empfunden XLV. 10. — Mittel zur Beurtheilung derselben XLV. 11. — die Richtigkeit des Urtheils nimmt mit der Größe der Entfernung ab XLV. 12.

Entladung der elektrischen Flasche XXXVIII. 13—15.

Entzündung, Bedingung derselben XX. 3.

Erdbeschreibung, physische, ein Theil der angewandten Naturlehre. Einl. 7.

Erdfernrohr XLVIII. 10. 11.

Erleuchtung XLIV. 10.

Erleuchtungsspiegel XLVI. 13.

Erregung der Elektricität XL. 1—14.

Erreger XL. 11.

Erweiterung des Volumens erregt Kälte XX. 7.

Eudiometer XXVII. 2.

Expansibilität (Ausdehnbarkeit) allgemeine Eigenschaft der wahrnehmbaren Körper I. 8.

Expansivkraft s. Ausdehnsamkeit.

Experimentalphysik, ihr Begriff. Einl. 8.

F.

Fall, gehört zu den gleichförmig beschleunigten Bewegungen VI. 5. XII. 1. 5. 9. — seine Gesetze VI. 6. XII. 5. — Fall eines freien Körpers XII. 2—5. 7. — auf einer schiefen Ebene XII. 8—12. — in der Luft XXXV. 15. 16.
Fallmaschine, Atwoodische XII. 5.
Farben des vom Körper zurückgeworfenen Lichtes XLIV. 12. — mancher Körper läßt andere durch, als er zurückwirft XLVII. 1. — Gegensatz der Farben XLIX. 9. — Farben der Lamellen XLIX. 14. — Farben durch Beugung des Lichtes XLIX. 15. — jede durch Brechung in einem optischen Glase entstandene hat ihren eigenen Brennpunkt XLIX. 16. — gesättigte Farben XLIX. 24. — ergänzende, entgegengesetzte XLIX. 9. 31. — zufällige physiologische LI. 25 — 27.
Farbenbild des Prisma, Frauenhofers Entdeckung LI. 24.
Farbenkreis XLIX. 26.
Farbenkreisel XLIX. 27. — Versuche mit demselben XLIX. 28 — 32.
Farbenlehre, dioptrische XLIX. — mathematische Zusätze L. 17 — 27.
Farbentheorie, allgemeine Bemerkungen über die Newtonische XLIX. 20.
Farbenzerstreuung, Wirkung ders. bei optischen Gläsern XLIX. 16. — Farbenzerstreuung im Auge L. 14.
Federkraft s. Elasticität.
Fernröhre, gemeine XLVIII. 7—15. — dioptrische katoptrische XLVIII. 1. — Holländische, Galiläische XLVIII. 7. — achromatische L. 13—16. — ihre Vorzüge vor nicht achromatischen und Spiegelteleskopen L. 15.
Festigkeit, einer der Aggregatzustände der Körper II. 1.
Feuchtigkeit, gläserne und wäßrige des Auges XLV. 1.
Feuerluft XXVII. 3.
Fliehkraft XIII. 7. XIV. 3.
Flüssigkeiten, tropfbare XXI. 1. — Allgemeine Bemerkungen über dieselben XXI. 15—17. — Einfluß der Cohäsions- und Adhäsionskraft auf dieselben XXV. — Druck ders. auf den Boden und die Seitenwände des Gefäßes XXII. 4—6. — Gleichgewicht zwischen verschiedenartigen XXII. 7. 8. —

ihr Verhalten zu eingetauchten festen Körpern XXIII. — eine schwerere kann in engen Glasröhren über der leichtern stehen XXV. 16. — hydraulisches Gesetz für abgesonderte Massen von Flüssigkeit XXVI. 2. — Bewegung fester Körper in Flüssigkeiten XXVI. 17—19. — Widerstand derselben XXVI. 17. — luftförmige oder ausdehnsame XXVII. 1 (s. Luft).
Flüssigkeit, wäßrige des Auges XLV. 1.
Finsterniß XLIV. 20.
Form, primitive (Kerngestalt), secundäre der Körper IX. 3.
Frostpunkt am Thermometer XVII. 5. — künstlicher XVII. 6. 11.
Fundamentalabstand am Thermometer XVII. 5.

G.

Galvanismus XL. 3—14. — Entdeckung desselben XL. 4. — wirksamste Erregung desselb. XL. 4. — merkwürdigste Versuche XL. 7. — gewisse Wirkungen ändern sich mit der Höhe, andere mit der Breite der Platten XL. 8. — Anwendung der Symmerschen Hypothese XL. 11. — Galvanismus erregt Magnetismus XLIII. 8. 9.
Galvanische Kette XL. 4.
Gasarten XXVII. 1.
Gefäßbarometer XXVIII. 3.
Gefrieren des Wassers XVIII. 2. — des Queckſilbers XVIII. 4. — des Weingeistes XVIII. 5.
Gefüge, inneres der festen Körper IX. 1. — seine Regelmäßigkeit erklärt IX. 4. 7.
Gegensatz der Farben XLIX. 9.
Gelb, eine einfache Grundfarbe XLIX. 22.
Geschwindigkeit, Bestimmung des Begriffes IV. 3. — ihr Maaß IV. 3. — die Geschwindigkeit, welche die Schwere giebt, ist bei allen Körpern gleich VI. 6. — Geschwindigkeit eines frei fallenden Körpers VI. 6. XII. 5. — sie ist das Maaß der Schwerkraft XIV. 11. — eines herabrollenden Körpers XII. 10. — einer ausströmenden Flüssigkeit XXVI. 3—11.
Geschwindigkeitsscale XIV. 13.
Gesichtsfeld eines Fernrohrs XLVIII. 3. — wie es kann vergrößert werden XLVIII. 9. — wie es zu messen ist XLVIII. 15.
Gestalt, allgemeine Eigenschaft der Körper I. 3. — selbstständige bei festen Körpern VIII. 1. — primitive und secundäre IX. 3.

— die sichtbare ist nicht die wahre XLV. 14. — Mittel zur Beurtheilung der letztern XLV. 14.
Gewicht, ist von Schwere verschieden XIV. 11. — sein Verhältniß bei gleichartigen Körpern V. 6. VI. 3. — ist die gemeßne Größe vom Druck eines Körpers, und der Masse proportional VI. 2. — Specifisches Gewicht VI. 3. — das fester und tropfbarer Körper VII. — Bestimmung desselben nach einer Einheit VII. 1. 2. 3. 9. — Bestimmung desselben bei tropfbaren Flüssigkeiten VII. 4. — bei ausdehnsamen Flüssigkeiten XXXII. 5—8. — bei festen Körpern VII. 5. XXIV. 4. 5. — das des Wassers zu finden XXIV. 3. — das specifische Gewicht wird durch chemische Mischung geändert VII. 8.
Glas, sein Verhalten gegen Elektricität XXXVI. 7. — Erscheinungen des gebrochenen Lichts durch geschliffene Gläser XLVII. 8. — durch plane XLVII. 9. — sphärische (Linsengläser) XLVII. 11—13. — Erscheinungen durch dieselben XLVII. 11—34. — ihr optisches Centrum XLVII. 13. — ihre Achse XLVII. 13. — ihre Öffnung XLVII. 13. — ihre vordere und hintere Fläche XLVII. 13.
Glaselektricität XXXVII. 1. 13.
Glasprisma XLIX. 1. — seine Erscheinungen, subjective XLIX. 2. — objective XLIX. 3. — Erklärung der Erscheinungen XLIX. 4—12. — Brechungsverhältniß im Glasprisma XLIX. 4—8. L. 19—27.
Glasspiegel bisweilen Metallspiegeln vorzuziehn XLVII. 10.
Gleichgewicht fester Körper X. — Begriffbestimmung X. 1. 2. — das freier Körper X. 2—6. — bei Körpern, die sich um eine Achse drehen X. 7—13. — thermometrisches XIX. 1. — Grundgesetze vom Gleichgewicht der flüssigen Körper unter sich XXII. 1. 2. — und gegen feste Körper XXIII. — hygrometrisches XXXIV. 4. — chemisches und mechanisches unterschieden XXI. 15.
Grau, Erklärung dieser Farbe XLIX. 23.
Gravitation, allgemeine VI. 9.
Größe, allgemeine Eigenschaft der Körper I. 3. — die sichtbare XLV. 8. 13. — bestimmt die Entfernung der Gegenstände XLV. 11. — und deren Größe XLV. 13. — scheinbare XLV. 13.
Grundfarben XLIX. 21—34.
Grundgesetze, Newtonische der Bewegung V.

Grundstoffe III. 4. 13.
Grundwasser XXII. 3.

H.

Haarröhrchen, Stand der Flüssikeit in denselben XXV. 5—8.
Halbkugeln, Guerick'sche XXXI. 7.
Halbleiter der Elektricität XXXVI. 8.
Halbmesser des sphärischen Spiegels XLVI. 8.
Halbschatten XLIV. 20.
Harzelektricität XXXVII. 1. 13.
Hauptschnitt, eines Rhomboeders LI. 2. — der auffangenden Ebene LI. 2.
Hauptstrahl bei sphärischen Spiegeln XLVI. 8. — bei Gläsern XLVII. 13.
Heber, Gebrauch desselben XXIX. 9. — anatomischer Heber XXII. 5.
Heberbarometer XXVIII. 3.
Helligkeit XLIV. 19. XLVIII. 3. 4.
Heronsball XXXI. 6.
Heronsbrunnen XXXV. 11.
Hinterfläche des Glases XLVII. 13.
Hinterkammer des Auges XLV. 1.
Hitze, ihre Entzündungskraft folgt andern Gesetzen als die der Elektricität XXXVI. 16.
Höhenmessungen vermittelst des Barometers XXXII. 11—16.
Hohlspiegel s. Sammelspiegel.
Hornhaut, weiße und durchsichtige XLV. 1.
Hörrohr XVI. 16.
Hydraulik, Theorie und Gesetze derselben, wenn in ihr nur die Schwere als wirkend gedacht wird XXVI. 3—8. — Versuche dazu XXVI. 9—12. — Einfluß anderer Umstände als der Schwere auf dieselbe XXVI. 12—16. — Brahmahs hydraulische Presse XXII. 5.
Hydrostatik XXII. XXIII. — Hauptgrundgesetze derselben XXII. 1. 2.
Hydrostatische Wage XXIV. 1. — Anomalien XXV.
Hygrometer XXXIV. 3—13. — das Daniellsche XXXIV. 11—13.
Hygrometrie XXXIV. 3—13.
Hygroskope XXXIV. 3. 5—10.

J.

Inclinationscharte XLII. 10.
Inclinationsnadel XLII. 7—11.
Inclinatorium XLII. 7.
Indifferenzpunkt, elektrischer XXXVIII. 5.
Inflexion des Lichtes XLIV. 9.
Interferenz LI. 17—23. — Princip ders. LI. 20.
Intervalle der Töne, ihr Zahlenverhältniß XVI. 5.
Irrthümer, optische vor Newton L. 2. — Newton's L. 3—5. Euler's L. 9—11.
Isolatorium XXXVI. 9.
Isoliren XXXVI. 9.

K.

Kaleidoskop XLVI. 7.
Kälte, Erregungsmittel ders. XX. 7. 8. — künstliche Kälte XX. 8. — hebt das Gleichgewicht der Luft auf XXXV. 8. 9.
Kasten, perspectivischer oder optischer XLVII. 18.
Katoptrik XLIV. 9. XLVI. — Grundgesetz ders. XLVI. 4. — mathematische Theorie ders. XLVI. 16—22. — Fundamentalformel zur Lösung aller Aufgaben XLVI. 17.
Kepplers Sternrohr XLVIII. 8.
Kerngestalten der Krystallisation IX. 1. 2. 6.
Knallluft XXVII. 5.
Kochen XVIII. 3.
Kohlensäure XXVII. 6.
Körper, Lehre von den wahrnehmbaren. Einl. 10. 11. — allgemeine Eigenschaften ders. I. — Erklärung des Begriffs-Körper I. 1. — Körper und Materie verschieden I. 10. — feste, tropfbare, luftförmige II. 1. — harte, zähe, weiche, spröde VIII. 1. — elastische VIII. 7. — vollkommen, unvollkommen elastische VIII. 8. — jeder ist aus wahrnehmbaren und nichtwahrnehmbaren Bestandtheilen zusammengesetzt III. 13. — Gesetz vom Widerstande der elastischen VIII. 11. — inneres Gefüge der festen Körper IX. — Vergrößerung der Körper durch die Wärme XVII. 13. — Bewegung fester Körper in tropfbaren XXVI. 17—19. — sie verlieren in der Luft an Gewicht XXXII. 4. — hygroskopische, hygrometrische Körper XXXIV. 4. — idioelektrische XXXVI. 8. — elektrische,

(elektrisirte) XXXVI. 4. 8. — unelektrische XXXVI. 8. — selbstleuchtende, erleuchtete, durchsichtige, undurchsichtige XLIV. 5. — weiße, schwarze LXIV. 12.

Kräfte, Lehre von den bewegenden V. — Bestimmung des Begriffs bewegende Kraft V. 1. — ihr Maaß V. 5—9. — ihre Wirkung auf feste Körper VIII. 10. — Zusammensetzung und Zerlegung der bewegenden Kräfte X. 4. — einfache und mittlere oder zusammengesetzte X. 4. — Parallelogramm der Kräfte X. 4. — Gleichgewicht von mehr als zweien X. 5. 6. — Geschwindigkeit und Entfernung der Kräfte X. 11.

Krystalle, ihr Gefüge nach Hauy IX. 2.

Krystallisationswasser XXI. 5.

Krystall-Linse XLV. 1.

Kurzsichtigkeit XLV. 3. — Hülfsmittel bei derselben XLVII. 18.

L.

Lage eines Gegenstandes gegen andere, ein Mittel zur Beurtheilung seiner Entfernung XLV. 11. — und seiner wahren Größe XLV. 13.

Lamellen, deren Farben XLIX. 14.

Lebensluft XXVII. 3.

Lederbüchse XXXI. 5.

Leiter der Wärme XIX. 2. — der Elektricität XXXVI. 8. XL. 11. — der erste Leiter XXXVI. 5. 6. — ihre Gestalt hat Einfluß auf die Wirkung XXXVI. 13. — die vorzüglichsten XXXVI. 8. — zwei Arten der Leiter XL. 11.

Lesegläser XLVII. 18.

Licht XLIV. 4. — Mechanik des geradlinigen XLIV. 5. — Gesetz für die Bewegung desselben XLIV. 6. — Beugung und Zurückwerfung desselb. XLIV. 9. — Schwächung desselb. XLIV. 12. — Vorstellung zur Erklärung seiner verschiedenen Farben XLIV. 14. — seine Geschwindigkeit XLIV. 15. L. 2. — Gesetz für die Abnahme seiner Stärke XLIV. 17. — Umstände, wovon diese abhängt XLIV. 18. — Zusammenhang des Lichtes mit der Wärme XLIV. 22. — Zurückwerfung desselb. durch Spiegelflächen XLVI. — deren Grundgesetz XLVI. 4. — Brechung des Lichtes in durchsichtigen Körpern XLVII. — dessen Grundgesetz XLVII. 3. — nebst Versuchen XLVII. 4. — und Bemerkungen XLVII. 6. —

Umstände, wovon die Brechung abhängt XLVII. 6. — wichtigste Brechungsverhältnisse XLVII. 6. — Licht und Schatten, Hülfsmittel zur Beurtheilung der wahren Gestalt XLV. 14.
Lichtsauger XLIV. 14.
Lichtstrahl, Erklärung des Wortes XLIV. 7. — Brechung desselb. XLVII. 3—6. — seine Ausbreitung dabei XLVII. 6. — Zurückstrahlung dabei XLVII. 6. — sein Weg in der Atmosphäre XLVII. 7.
Lichtenbergische Figuren XXXIX. 7.
Linsen XLVII. 12. — mikroskopische XLVII. 18.
Linsengläser XLVII. 12.
Lorgnette XLVII. 18.
Loupe XLVII. 18.
Luft, atmosphärische XXVII. 2. — sie soll durch Verbindung von Wasser und Elektricität entstehen XXI. 6. — permanente (beharrliche) XXVII. 7. — ihre Expansivkraft bei unveränderter Dichtigkeit ist das genauste Maaß der Wärme XXX. 1. — sie ist schwer XXVIII. 5. — ihr Druck, wenn sie ruhig ist, ist in wagrechter Ebene gleich XXXII. 2. — Verhältniß vom Volumen zum Druck der Luft XXIX. 2. 3. — Art, ihre Schwere in niedrigen Gegenden zu schätzen XXVIII. 6. — desgl. ihren Druck XXVIII. 10. — sie nimmt dem Körper so viel Gewicht, als der Theil von ihr wiegt, den er verdrängt XXXII. 4. — ihr Druck gegen sperrende Wände XXVIII. 10. — Abnahme ihres Druckes und ihrer Dichtigkeit mit der Höhe XXXII. 3. — die Ausdehnsamkeit der Luft durch Versuche mit der Luftpumpe sichtbar XXXI. 6. — desgl. ihr Druck XXXI. 7. — desgl. ihre Schwere XXXI. 8. — sie geräth in Bewegung durch Veränderung ihrer chemischen Mischung XXXV. 10. 11. — durch die Bewegung anderer Körper XXXV. 12. — mechanische Mittel, sie zu bewegen XXXV. 13. — sie ist ein Mittel, feste und tropfbare Körper in Bewegung zu setzen XXXV. 14. — die Größe ihres Widerstandes zu untersuchen XXXV. 15. — die Lehre vom Fall in der Luft läßt sich nicht vollständig darstellen XXXV. 16. — das Gewicht einer cubischen Einheit derselb. XXXII. 5—8. — die Luft wird beim Ausströmen der Elektricität aus Spitzen bewegt XXXVI. 1/4.
Luftarten, Beschreibung der merkwürdigsten XXVII. — perma-

nente (beständige) XXVII. 7. — ihre specifische Schwere XXXII. 5—8. — specifische Ausdehnsamkeit derselben XXXII. 9. 10.
Luftkreis, Höhe desselben XXXII. 16.
Luftpumpe, ihre Beschreibung XXXI. 1—5. — vermischte Versuche mit derselben XXXI. 9. 10.
Luftspiegelung XLVII. 7.
Luftthermometer XXX. 5—7.

M.

Maß der Beschleunigung XII. 4. XIV. 11. — der Farbenzerstreuung L. 21.
Magnet, allgemeine Eigenschaften desselb. XLI. — natürlicher, künstlicher XLI. 1. — Verhalten desselb. für sich XLI. 8. — gegen Eisen XLI. 2. — gegen andere Magnete XLI. 9. 10.
Magnetische Kraft am stärksten an den Polen XLI. 3. — Mittheilung derselben XLI. 11. 12. — Vertheilung derselben XLI. 14. — sie wird durch Rost geschwächt, durch starkes Erhitzen zerstört XLI. 7. — magnetischer Wirkungskreis XLI. 14. — magnetisches Magazin XLI. 13. — magnetischer Meridian XLII. 3.
Magnetismus, Grundgesetz desselb. XLI. 5. — durchdringt alle Körper XLI. 10. — seine Mittheilung XLI. 11—13. — ursprünglicher XLIII. 4. — Magnetismus der Erdkugel XLIII. 1—6. — Stärke der magnetischen Kraft XLIII. 5. 6. — Magnetismus durch Galvanismus XLIII. 8. 9. — durch Elektricität XLIII. 10. — durch Wärme XLIII. 11.
Magnetnadel XLI. 8. — ihre Abweichung XLII. 4. 6. — diese ist nicht an allen Orten gleich XLII. 4. 5. — ihre Neigung ist an verschiedenen Orten verschieden XLII. 10. — ändert sich mit der Zeit XLII. 11.
Mariotte's Gesetz über die Verdichtung und Verdünnung der Luft XXIX. 3—7. — seine Verdichtungsröhre XXIX. 4. 5. — Verdünnungsröhre XXIX. 6.
Masse eines Körpers, Begriff derselben bei gleichartigen und ungleichartigen Körpern V. 6. — Einwirkung der bewegend wirkenden auf eine andere V. 11.
Massentheilchen IX. 1. 6.

Materie und Körper verschieden I. 10. — Eigenschaften der nicht wahrnehmbaren I. 10. — magnetische XLI. 15. — elektrische XXXVI. 4.— des Lichtes XLIV. 3. XLIX. 20.
Menisken XLVII. 12.
Meridian, magnetischer XLII. 3.
Metall, sein Verhalten gegen die Elektricität XXXVI. 7.
Metalloxyd XXVII. 3.
Mikroskop einfaches XLVII. 18. — Schätzung der Vergrößerung desselb. XLVII. 18. — zusammengesetztes XLVIII. 16—18. zusammengesetztes achromatisches L. 16. — Sonnenmikroskop XLVII. 18.
Mineralogie, ein Theil der Naturbeschreibung. Einl. 2.
Mischung, chemische ist ein Mittel den Aggregatzustand der Körper zu ändern II. 3. — ist verschieden von Gemeng III. 6. — Mischung von Stoffen, ist die Folge ihrer Anziehung III. 14. — die Veränderung der chemischen Mischung in der Luft ist die Ursach von Luftbewegungen XXXV. 10.
Mittelpunkt der Schwere XI. 1—5. — geometrischer, optischer Mittelpunkt der Spiegel XLVI. 8. — der Gläser XLVII. 13. — mathematische Theorie über den optischen der Gläser XLVII. 26—28.
Mittheilung der Elektricität XXXVI. 15. XXXVIII. 1. 2. XXXIX. 4.
Molecul (Massentheilchen) IX. 1. 6.
Moment, statisches, mechanisches X. 11.
Monochord XVI. 4.

N.

Natur, Geschichte derselben, ein Theil der angewandten Naturlehre. Einl. 7.
Naturbeschreibung, ein Theil der Naturkunde. Einl. 1. — Eintheilung derselben. Einl. 2.
Naturkunde, Eintheilung der gesammten. Einl. 1—7.
Naturlehre, ein Theil der Naturkunde. Einl. 1. — ihr Gebiet. Einl. 3. — angewandte. Einl. 3. — theoretische. Einl. 3. 4. — organische, anorganische. Einl. 4. — Eintheilung der organischen. Einl. 6. — chemische, mechanische. Einl. 5. — angewandte. Einl. 7. — Gegenstand der mechanischen. Einl. 9. — und Eintheilung. Einl. 8—13.
Nebentöne, Entstehung derselben XVI. 7.

Neigung der Magnetnadel XLII. 7.
Neigungskreis, magnetischer XLII. 10.
Neigungslinie, magnetische XLII. 10. XLIII. 2.
Nichtleiter der Elektricität, die vorzüglichsten XXXVI. 8.
Nordlicht, elektrisches XXXVII. 8. 10.
Nordpol des Magnets XLI. 8. — magnetischer der Erde XLIII. 1.

O.

Oberfläche eines Körpers, ihre Vergrößerung durch die Wärme XVII. 13. — die der Flüssigkeiten steht in stärkerem Zusammenhange als das Innere der Flüssigkeit XXV. 3. — und ist meistens nicht wagerecht XXV. 4.
Objektivglas XLVIII. 1. — mit farbenlosen Bildern L. 13.
Objektivspiegel XLVIII. 1.
Okulargläser XLVIII. 1.
Öffnung des Spiegels XLVI. 8. — des Glases XLVII. 13.
Optik im weitern und engern Sinne XLIV. 2. — erste Gründe der letztern XLIV.
Optische Wissenschaften, ein Theil der angewandten Mathematik. Einl. 8.
Orientirnadel XLII. 2.
Örstedts Compressionsgeräthschaft XXI. 16.
Ort eines räumlichen Dinges IV. 2.
Oscilliren XIII. 5. XVI. 2.
Oxygenluft XXVII. 3.

P.

Parallelkreis, magnetischer XLII. 10.
Parallelspiegel XLVII. 10.
Pendel, zusammengesetztes (physisches), einfaches (geometrisches) XIV. 6. — Schwingung XIV. 7—9. — Schwingungszeit XIV. 9. — Schwingungspunkt des zusammengesetzten XIV. 10. — Länge eines einfachen Pendels XIV. 6. — eines zusammengesetzten XIV. 10. — Gebrauch des Pendels XIV. 12. 13.
Pendelschwingungen XIV. 5. 7—9.
Percussionsgeräthschaft XV. 2.
Perspektive, geometrische und Luftperspektive XLV. 15.
Perspektivischer Kasten XLVII. 18.

Phiolenbarometer XXVIII. 3.
Phorometrie IV.
Photometer, Photometrie XLIV. 21.
Physiologie der organischen Körper, ein Theil der organischen Naturlehre. Einl. 6.
Pistole, elektrische XXXVI. 16.
Plangläser, Erscheinungen der Lichtbrechung durch dieselben XLVII. 9.
Platten, Haften derselben an der Flüssigkeit XXV. 2.
Pneumatik. Erscheinungen, wenn bei der Bewegung der Luft bloß Druck wirksam ist XXXI. 2—5. — Allgemeines Gesetz für dies. XXXV. 7.
Polarisation des Lichtes LI. 7—16. — durch Zurückstrahlung LI. 10. 11. — durch Brechung LI. 12—14. — Farben durch Polarisation LI. 15. 16.
Polarisationsebnen LI. 7. 9.
Polarisationsgeräthschaften LI. 8. 9.
Polarität des Magnets XLI. 8.
Pole des Magnets XLI. 3. 4. 6. 8. — freundschaftliche und feindliche XLI. 9. — magnetische der Erde XLIII. 1—3.
Poren lassen manche Flüssigkeit leichter, andre schwerer hindurch XXV. 10.
Porosität, nicht beweislich allgemeine Eigenschaft der festen Körper I. 9. IX. 7.
Presse Brahmah's hydraulische XXII. 5.
Preßbarkeit des Wassers XXI. 16. 17.
Prisma s. Glasprisma.
Pupille des Auges XLV. 1.
Pyrometer XVII. 10.
Pyroskope XVII. 10.

Q.

Quadrantelektrometer, Henly's XXXVI. 12.
Quecksilber kann in einem dreifachen Aggregatzustande dargestellt werden XVIII. 4. — seine Eigenschaften und specifisches Gewicht XXI. 11. — Vorzüge zum thermometrischen Gebrauch XVII. 8. — nimmt beim Erkalten viel gleichförmiger als Wasser an Ausdehnung ab XVIII. 4. — und nähert sich innerhalb des Fundamentalabstandes einem gleichmäßigen Gange der Ausdehnung XVII. 12. — es benetzt nur die Metalle mit Ausnahme des Eisens XXV. 9.

Queckſilberthermometer, ſeine Anzeigen in die des Lufftthermometers zu verwandeln XXX. 6. 7.
Quellen, ihre Entſtehung XXII. 3.

R.

Rad, elektriſches XXXVI. 14.
Rauminhalt, den eines Gefäßes zu finden VII. 10.
Reflexion des Lichtes XLIV. 9. ſ. Zurückwerfung.
Refraction des Lichtes XLIV. 9. ſ. Brechung.
Regenbogen, aus der Brechung des Lichts zu erklären XLIX. 19.
Regenbogenhaut XLV. 1.
Reibezeug XXXVI. 2.
Reſonanz XVI. 15.
Röhre, Toricelliſche XXVIII. 2.
Roth iſt eine einfache Grundfarbe XLIX. 22.
Ruhe, Begriff des Wortes IV. 2.

S.

Salpeterſtoff XXVII. 4.
Sammelgläſer XLVII. 12. 14. — Erſcheinungen durch dieſelben XLVII. 15. 17. — Erſcheinungen, wenn das Objekt hinter dem Glaſe ſteht. XLVIII. 5.
Sammelſpiegel XLVI. 8. — Erſcheinungen durch dieſ. XLVI. 12. 13. — die entſtehenden Bilder der Gegenſtände XLVI. 9—11. — wiſſenſchaftliche Erklärung derſ. XLVI. 16—22. Sammelſpiegel von Glas. XLVI. 8.
Sauerſtoff XXVII. 3.
Säule, Voltaiſche, XL. 6—14. — trockne XL. 10.
Scale der Töne XVI. 6.
Schall, Lehre von demſelben XVI. — ſeine Fortpflanzung XVI. 11. — ſeine Fortpflanzung durch Waſſer XXI. 17. — Geſchwindigkeit XVI. 11. — Stärke XVI. 13. — Ausbreitung des reflectirten XVI. 14.
Schallwellen und Schallſtrahlen XVI. 12.
Schatten, Kern- und Halbſchatten, XLIV. 20. — Schatten und Licht, Hülfsmittel zur Beurtheilung von der wahren Geſtalt der Körper XLV. 14.
Scheidung, Beiſpiel einer chemiſchen III. 7.
Schiffscompaß XLII. 2.
Schlagweite XXXVIII. 2.
Schlange, elektriſche XXXVII. 8.

Schmelzen, Begriff des Wortes XVIII. 1.
Schneegränze XIX. 3.
Schwefeläther XXI. 14.
Schwere, Eigenschaft der wahrnehmbaren Körper 1. 7. — verschieden von Gewicht XIV. 11. — historische Übersicht dessen, was von ihr bekannt ist VI. — Richtung der Schwerkraft VI. 4. — die Schwerkraft wirkt während des Falles gleich stark fort VI. 5. — giebt allen Körpern gleiche Geschwindigkeit VI. 6. — ist nicht überall ganz gleich VI. 7. 8. XIV. 4. 13. — ihr Maaß XIV. 11. — Vorstellung von der der irdischen Körper VI. 10. — Mittelpunkt der Schwere XI. 1 — 5. — Richtung der Schwerkraft XIV. 12. — Art, die Schwere der Luft in den niedrigen Gegenden zu schätzen XXVIII. 6. — specifische Schwere der Luft- und Dunstarten XXXII. 5 — 8. — Wirkung der Schwere auf tropfbare Flüssigkeiten XXII. 2. 3.
Schwerpunkt der Körper XI. 1 — 8. — sein Ort ist bei Körpern von veränderlicher Gestalt veränderlich XI. 6.
Schwimmen, Gesetze für dasselbe XXIII. 3 — 9. — auf dem Wasser schwimmen dünne Körper auch wenn sie specifisch schwerer sind XXV. 15.
Schwingung XIV. 7. — die eines Pendels ist bei gleichen Schwingungsbogen unabhängig vom Gewicht, der Größe, Gestalt und materiellen Beschaffenheit des Pendels XIV. 9. — Gleichzeitigkeit der Schwingungen XIV. 9. — Mittelpunkt der Schwingung XIV. 10. — Schwingung einer Saite (Vibration) XVI. 2. — Mittheilung derselben XVI. 14. — die mitgetheilten sind den ursprünglichen gleichzeitig XVI. 11. — unregelmäßige XVI. 19. — Schwingungen bei Blaseinstrumenten XVI. 17.
Schwingungsknoten XVI. 7.
Schwingungslinie XVI. 8.
Schwingungspunkt eines Pendels XIV. 10.
Schwingungszeit, die des Pendels durch dessen veränderte Länge verändert XIV. 9. — sie ist eine Wirkung der Schwere XIV. 5. — wird durch veränderte Schwerkraft verändert XIV. 12. — Verhältniß der Schwingungszeiten bei Saiten XVI. 3 — 6. 9. 10.
Sehen, Erklärung desselb. XLV. 2.
Sehwinkel XLV. 8. 9.

Seitenkräfte X. 4.
Sichtbarkeit, Bedingungen derſ. XLV. 9.
Sieden, Begriffbeſtimmung deſſ. XVIII. 1. — das des Waſſers XVIII. 3. — des Queckſilbers XVIII. 4. — des Weingeiſtes XVIII. 5. — es findet nicht bei allen Flüſſigkeiten im gewöhnlichen Sinne ſtatt XVIII. 6.
Siedpunkt des Thermometers XVII. 5. — muß bei beſtimmtem Barometerſtande beſtimmt werden XVII. 5. XVIII. 1.
Sinne, ſubjective, objective I. 1.
Sonne, elektriſche XXXVII. 8.
Sonnenmikroſkop XLVII. 18.
Spaltungsrichtungen in den Körpern IX. 2.
Sperrbarkeit, Eigenſchaft der Körper I. 6.
Spiegel, Glas=Metallſpiegel, XLVI. 2. — ebene, ſphäriſche, paraboliſche, elliptiſche, kegelförmige, cylindriſche XLVI. 3. — Erklärung der Erſcheinungen bei ebenen XLVI. 5—7. — bei ſphäriſchen XLVI. 8—15. — Beſchreibung der ſphäriſchen XLVI. 8.
Spiegelteleſkop L. 6—8.
Spiegelung polirter Flächen XLVII. 6.
Sprachrohr XVI. 16.
Statik feſter Körper X. — tropfbarer XXII. — luftförmiger XXXII. — elektriſche XXXVIII. 3. 4.
Stechheber, Erſcheinungen vermittelſt deſſelben XXIX. 9.
Sternkunde, phyſiſche, ein Theil der angewandten Naturlehre. Einl. 7.
Sternrohr, Keplerſches XLVIII. 8. — Mittel, ſein Geſichtsfeld zu vergrößern XLVIII. 9.
Stimmgabel XVI. 4.
Stimmritze XVI. 18.
Stimmung (einer Ton=Scale) XVI. 10.
Stoffe, freie, gebundene, ſchwach gebundene III. 12. — Lehre der nicht wahrnehmbaren. Einl. 10. 12. — deren vermuthlicher Zuſammenhang XLIV. 22.
Stoß, centraler, gerader XV. 3. — Geſetz für den unelaſtiſcher Körper XV. 4. — Umſtände, welche ſeine Wirkung ändern XV. 3. 5. 6. — Wirkung des eccentriſchen XV. 7. — des ſchiefen XV. 8.
Strahl, Theorie von ſeiner Brechung, wenn er aus einem Punkte der Achſe kommt XLVII. 19—23. — wenn er aus

einem Punkte außer der Achse kommt XLVII. 24. 25. — polarisirter LI. 7. — gewöhnlicher (gewöhnlich gebrochner), ungewöhnlicher LI. 3.
Strahlenbrechung doppelte LI. 2—6. — über Huygen's Gesetz derselben LI. 3.
Strich, einfacher beim Magnetisiren XLI. 11.
Südpol des Magnets XLI. 8. — magnetischer der Erde XLIII. 1.

T.

Tangentialkraft XIII. 7.
Taschenperspectiv XLVIII. 7.
Tastbarkeit, Ursach derselben I. 4.
Täuschungen, optische sind falsche Urtheile XLV. 17.
Teleskop. s. Fernrohr.
Temperatur (Akustik), gleichschwebende XVI. 6. — (Wärme) Mittheilung derselben XX. 2. — Berechnung von dem Einfluß der Temperatur auf das specifische Gewicht der Luft XXXII. 7.
Theil von Bestandtheil verschieden III. 4.
Theilbarkeit, allgemeine Eigenschaft der Körper; geometrische und physische I. 3.
Thermometer, de Lüc'sche XVII. 5. — Fahrenheit'sche, Reaumur'sche XVII. 6. — Seltenheit eines guten XVII. 6. — die Scale des Thermometers genau nach gleichen Räumen der Röhre zu machen XVII. 6. — Vorzüge des Queckſilber-Thermometers XVII. 8. — Differentialthermometer XVII. 7. — Luftthermometer XXX. 5.
Ton, Begriffbestimmung XVI. 18. — Zahlenverhältniß der Intervalle der Töne XVI. 5. — ihre Höhe wird nicht durch die Fortpflanzung verändert XVI. 11.
Tonleiter XVI. 6.
Toricellisches Vacuum und Röhre XXVIII. 2.
Trägheit s. Beharrungsvermögen.
Tropfbarer Zustand, allgemeine Bemerkungen darüber II. 4. XXI. 15—17.
Tropfbarkeit II. 1. — der Übergang zu derselben aus dem festen Zustande geschieht bei manchen Körpern nicht plötzlich XVIII. 6. — ihre wesentlichen Eigenschaften XXI. 15—17.
Tropfen XXV. 11. — sein Verhalten, wenn er auf einen festen Körper gebracht wird XXV. 12.
Tuschspiegel XLVI. 8.

U.

Überträger, elektrischer XXXVI. 15.
Undeutlichkeit in optischen Werkzeugen, ihre Quellen XLIX. 17.
Undurchdringlichkeit, Eigenschaft der Körper I. 4. — unter gewissen Bedingungen zweifelhaft I. 5.

V.

Vacuum, Toricellisches XXVIII. 2.
Verbrennen, Lehre von demselben XX. 3.
Verdichtung der Luft zu messen XXIX. 5.
Verdichtungspumpe XXXI. 10.
Verdünnung der Luft zu messen XXIX. 6.
Verdünnungspumpe XXXI. 1—5. — Versuche mit derselben XXXI. 9.
Verdunstung findet vielleicht bei allen festen und tropfbaren Körpern statt XVIII. 1. — ihr Gang XXXIII. 2. — Tabelle für die Verdunstung XXXIII. 5. — sie ist eine Wirkung der Wärme XXXIII. 7. — sie findet gewöhnlich nur an der Oberfläche Statt XXXIII. 11.
Vereinigungsweiten der Strahlen XLVI. 17.
Vergrößerung eines Fernrohrs zu finden XLVIII. 14. — eines einfachen Mikroskops XLVII. 18. — eines zusammengesetzten XLVIII. 18.
Vergrößerungsgläser XLVII. 18.
Vergrößerungsmesser, Ramsdens XLVIII. 14.
Vergrößerungszahl XLVIII. 3.
Verschiedenheit, materielle der Körper III. 1. 2. — Vorstellung über ihren Grund III. 13.
Verstärkungsflaschen der Elektricität XXXVIII. 10—12.
Verstreuung des Lichtes LI. 18.
Vertheilung der Elektricität XXXIX. 4.
Verwandtschaft der Stoffe (Affinität) III. 14.
Vibration s. Schwingung.
Vibrationssystem (Optik) XLIV. 3. XLIX. 20.
Volta's Säule s. Galvanismus.
Volumen I. 3. — das eines festen Körpers zu finden XXIV. 2.
Vorderfläche eines optischen Glases XLVII. 13.
Vorderkammer des Auges XLV. 1.

W.

Wage, hydrostatische XXIV. 1. — Coulomb's elektrische XXXIX. 14 — 18.
Wärme, Mittel, den Aggregatzustand der Körper zu ändern II. 3. — Ursachen derselben XVII. 2. XX. 2. — ihr Einfluß auf die Ausdehnung der Körper XVII. 3. — Ihr Einfluß auf das spec. Gewicht fester und tropfb. Körper XVII. 14. — ihre unmittelbare Wirkung auf Luftmassen XVII. 3. — ihr Einfluß auf die Ausdehnsamkeit und Ausdehnung XVII. 12. 13. — latente Wärme XVIII. 7. — Entbindung und Bindung der Wärme bei Änderung des Aggregatzustandes XVIII. 7 — 15. — Gesetz für die Bindung XVIII. 10. — für die Entbindung XVIII. 13. — Verbreitung der Wärme XIX. — die Wärme ist unsperrbar XIX. 2. — strahlende XIX. 3. — specifische XIX. 4. — diese zu finden XIX. 7. — Unsicherheit der specifischen Wärmen der Luft- und Dunstarten XIX. 8. — Tabelle specifischer Wärmen XIX. 9. 10. — die specifische Wärme ist bei chemischer Mischung von Körpern Veränderungen unterworfen XIX. 12. — Grund davon XIX. 13. XX. 2. — gebundene, freie Wärme XX. 1. — Erregungsmittel der Wärme XX. 3 — 7. — ihre Wirkung auf den Barometerstand XXVIII. 8. — auf Luft XXX. — auf Dunst XXXIII. 9 — 12. — ihr wahres Maaß sind die Veränderungen in der Expansivkraft der Luft XXX. 1. 8. — sie ist Ursach von Luftbewegungen XXXV. 8. 9. — erregt den Magnetismus XLIII. 11.
Wärmegrade, merkwürdige XVII. 11.
Wärmeleiter, gute, schlechte XIX. 2.
Wärmeleitung durch Mittheilung und Bewegung XIX. 2. 3. — durch Strahlung XIX. 3.
Wärmemesser (Thermometer) XVII. 4. 5.
Wärmestoff XVII. 2. — gebundener XVIII. 7. — Grundgesetze seiner Statik und Mechanik XX. 2.
Wasser, verschiedene Erscheinungen an demselben in den verschiedenen Aggregatzuständen XVIII. 2. 3. — seine Eigenschaften XXI. 3 — 10. — sein Verhalten gegen Salze XXI. 5. — gebundenes XXI. 4. 5. — seine Bestandtheile XXI. 6. — Gewicht XXI. 7. 8. — es besitzt eine geringe Preßbarkeit, Ausdehnbarkeit und Federkraft XXI. 9. — Ob es porös ist, oder nicht XXI. 10. — es kann eine höhere Hitze,

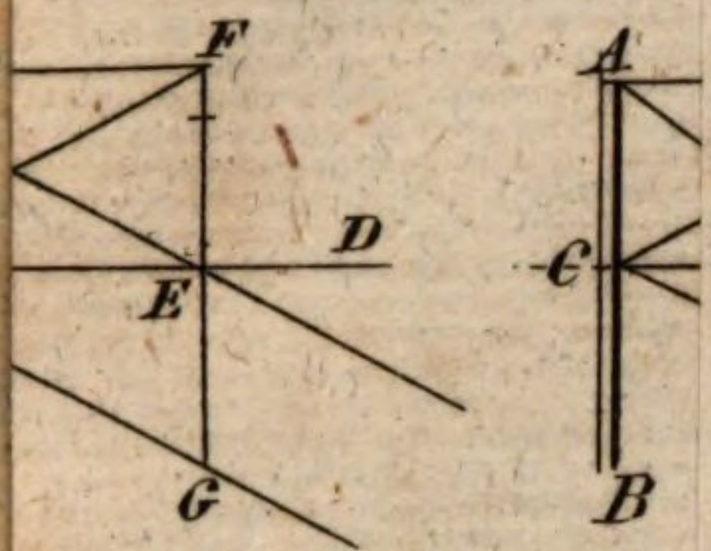
als die des Siedpunktes annehmen XXI. 5. — Grund, daß das Wasser die meisten Körper benetzt XXV. 9. — sein Gehalt in der atmosphärischen Luft XXXIV. 1. 2. — es ist nothwendig zur Erregung des Galvanismus XL. 4. — wird durch die Voltaische Säule zersetzt XL. 7. — (s. Flüssigkeit.)
Wasserbarometer XXVIII. 7.
Wassercalorimeter XIX. 6.
Wasserprobe, Archimedische XXIV. 5.
Wedgewood's Pyrometer XVII. 10.
Weingeist hat die größte Gleichförmigkeit der Ausdehnung in den Graden unter Null XVII. 12. — seine Erzeugung XXI. 12. — Eigenschaften XXI. 13. — rectificirter, absoluter XXI. 12.
Weiß, kann nie aus einer Mischung von Farbestoffen entstehen — XLIX. 27.
Weitsichtigkeit XLV. 3. — Mittel dagegen XLVII. 18.
Widerstand der Flüssigkeiten XXVI. 17. 18.
Wiederhall XVI. 1/4.
Winkel, brechender XLIX. 1.
Wirkung und Gegenwirkung, Grundgesetz über die Gleichheit derselben V. 10. 11.
Wirkungskreis, elektrischer XXXVIII. 1—9. 17.
Wissenschaften, mechanische, ein Theil der angewandten Mathematik. Einl. 8.
Wurfbewegung XIII. 1—3.

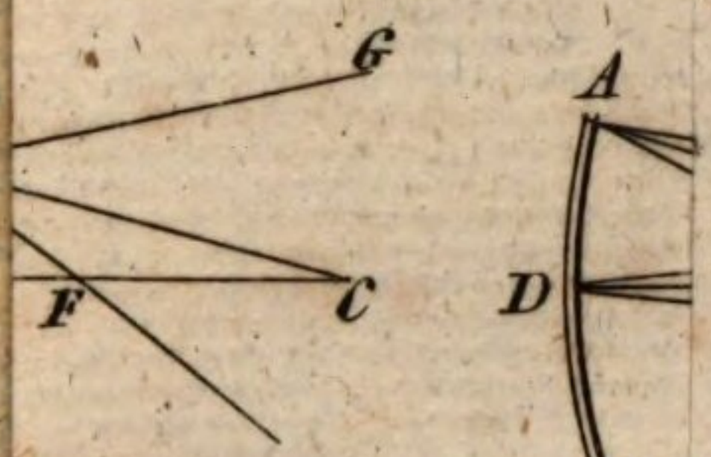
Z.

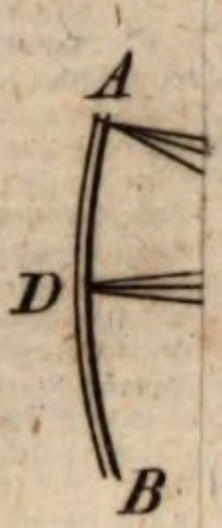
Zauberlaterne XLVII. 18.
Zerlegung, chemische III. 7. — der bewegenden Kräfte X. 4.
Zerstreuungsgläser, Erscheinungen ders. XLVII. 16—17. — negativer Brennpunkt und Brennweite ders. XLVII. 14. — Erscheinungen, wenn das Objekt hinter dem Glase steht XLVIII. 6.
Zerstreuungsspiegel XLVI. 8. — ihre Erscheinungen XLVI. 15. — mathematische Erklärung ders. XLVI. 16—22.
Zoologie, ein Theil der Naturbeschreibung. Einl. 2.
Zurückwerfung des Lichtes von Spiegeln XLVI.
Zurückwerfungswinkel XLVI. 4.
Zusammensetzung der bewegenden Kräfte X. 4. — optischer Gläser XLVIII. 1. 2. 4.

Bayerische Staatsbibliothek München

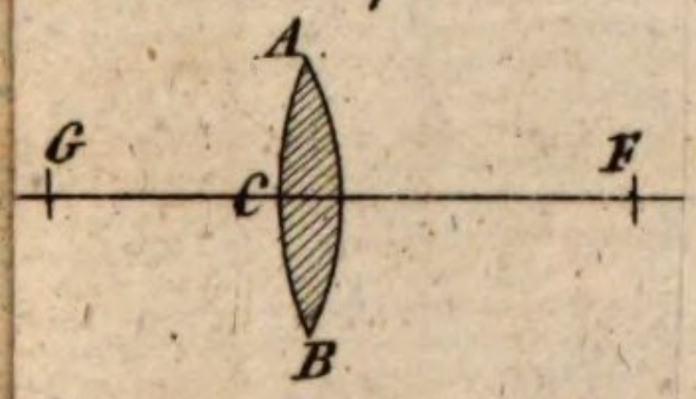
6.



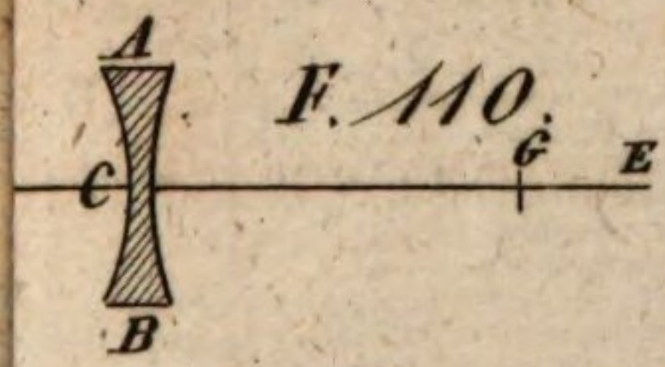




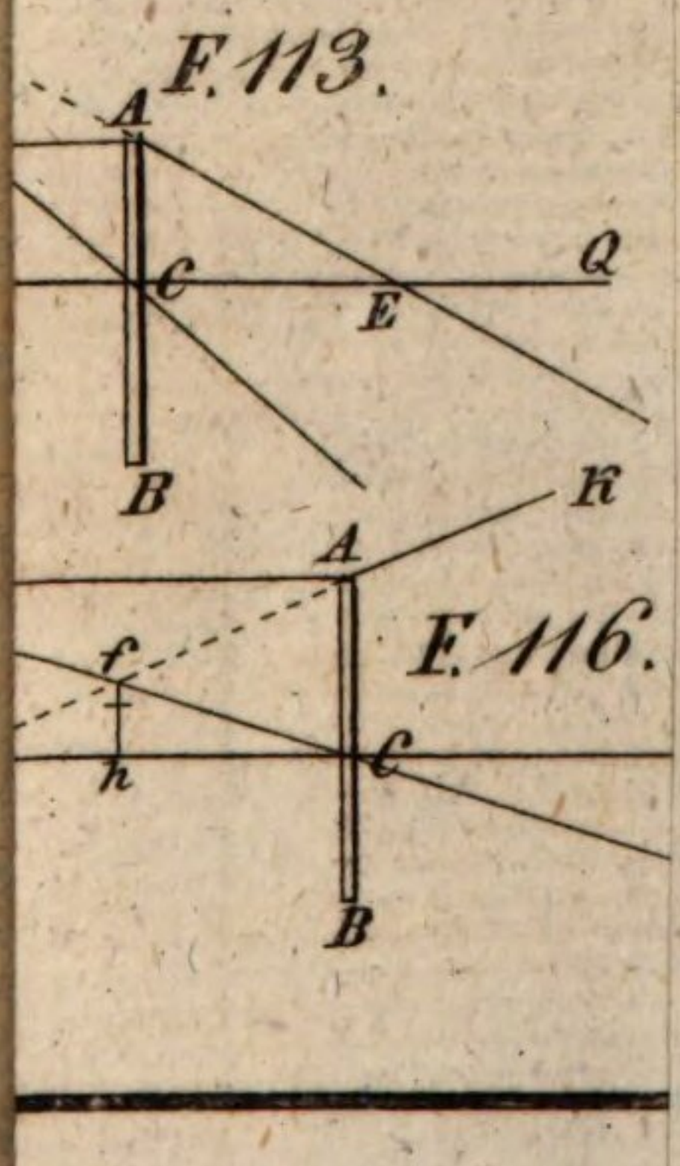
F. 107.



F. 110.



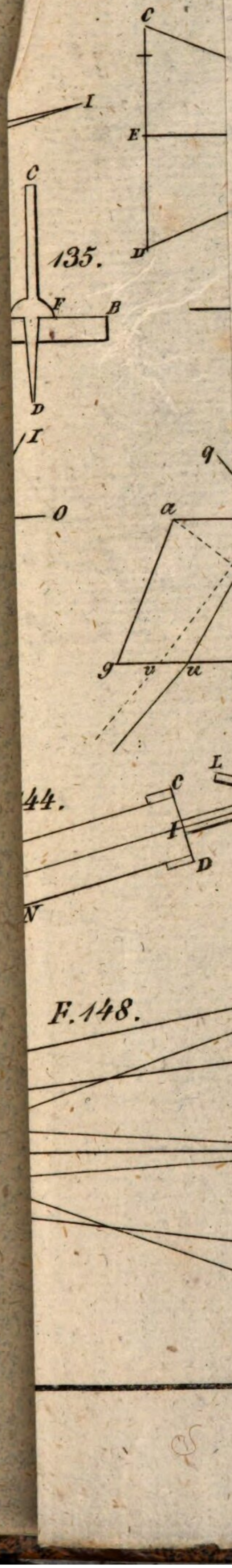
F. 113.



F. 116.

F'.

C



F. 148.